

ISSN 2413-9203

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

рецензируемый научный журнал

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

transsyst.ru

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Труды 3-й Международной научной конференции

«Магнитолевитационные транспортные системы и технологии» (MTST'15)

TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY

Proceedings of the 3rd International Scientific Conference

"Maglev transport systems and technologies" (MTST'15)

Выпуск 1 (3), 2016

Issue 1 (3), 2016

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. Ditrhls

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:

Tel. +7(911)238-44-45, e-mail: info@transssyst.ru; URL: http://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 NIIÉFA 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 – 1,25 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

Белозеров В. Л.	Социально-экономические аспекты инновационных проектов на транспорте	5
W. Li, D. Li, X. Zhang, J. Cao	Status and research progress of the linear rail transit system in China	16
Соломин В. А., Носков В. Н., Соломин А. В., Пустоветов М. Ю., Флегонтов Н. С.	Классификация высокоскоростных транспортных систем	42

Раздел 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Воеводский К. Е., Стрепетов В. М.	Продольные колебания в системе электродинамического подвеса	52
Милованова Е. А., Милованов А. А., Милованов А. И.	Подходы к созданию транспортной системы «Монолет»	65
Неизвестный С. И.	О применении таксономии в области информационных технологий	89
Талашкин Г. Н., Красковский В. Е., Смирнов В. Н., Потапова И. О.	Проектирование, строительство, эксплуатация дорог с использованием магнитной левитации, с чего начать?	112
Никитин В. В., Серeda Г. Е., Серeda Е. Г., Серeda А. Г.	Экспериментальные исследования заряда несверхпроводникового индуктивного накопителя энергии	126

Раздел 3. БЕЗОПАСНОСТЬ

Аполлонский С. М.	Функциональная безопасность в электроэнергетической железнодорожной системе	136
--------------------------	---	-----

Раздел 4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Соколова Я. В.	Риски реализации инновационного проекта создания транспортно-логистической системы с применением магнитолевитационной технологии	154
-----------------------	--	-----

CONTENTS

Section 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Belozеров V. L.	Socio-economic aspects of innovation projects in the transport	5
W. Li, D. Li, X. Zhang, J. Cao	Status and research progress of the linear rail transit system in China	16
Solomin V. A., Noskov V. N., Solomin A. V., Pustovetov M. Yu., Flegontov N. S.	Classification of high-speed transport systems	42

Section 2: SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENT

Voevodskii C. E., Strepetov V. M.	Longitudinal vibrations in electrodynamic suspension system	52
Milovanova E. A., Milovanov A. I., Milovanov A. A.	Approaches to the creation of the new vehicle of «Monojet»	65
Neizvestny S. I.	On the use of taxonomy in the field of information technology	89
Talashkin G. N., Kraskovskiy V. E., Smirnov V. N., Potapova I. O.	Design, construction and operation of roads with use of a magnetic levitation. With what to begin?	112
Nikitin V. V., Sereda G. E., Sereda E. G., Sereda A. G.	Experimental studies of charge of non-superconductive magnetic energy storage	126

Section 3. SAFETY

Apollonskiy S. M.	Functional safety electrified railways	136
--------------------------	--	-----

Section 4. ECONOMIC ASPECTS

Sokolova Y. V.	Risks of innovation project implementation transport and logistic s system on maglev transportation technology	154
-----------------------	--	-----

Раздел 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

УДК 629.439; 629.027

В. Л. Белозеров

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

Дорожная территориальная организация профсоюза
на Октябрьской железной дороге

Российский профессиональный союз железнодорожников
и транспортных строителей

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ТРАНСПОРТЕ

Дата поступления 19.06.2015

Решение о публикации 03.07.2015

Дата публикации 28.03.2016

Аннотация: Рассмотрены некоторые общие аспекты при проектировании магнитолевитационного транспорта. Отмечено, что при создании транспорта на магнитном подвесе важнейшими являются вопросы, связанные с безопасностью движения, а также какой социальный и экономический эффект будет достигнут от внедрения данного вида транспорта, доступность и мобильность для населения, экологичность и т.д.

Новый вид транспорта может быть эффективно использован как в дальнем следовании, так и в пригородной зоне крупных мегаполисов для обеспечения перевозок из центра в аэропорты, морские, речные и автовокзалы и транспортно-пересадочные узлы. Его применение возможно при перевозке грузов.

Создание магнитолевитационного транспорта способствует достижению экономических интересов государства и регионов, дает толчок развитию перспективных направлений науки, привлечению молодых научных кадров, исследователей, разработке новых технологий, производств, созданию новых рабочих мест и др.

Материал предназначен для научных работников, специалистов транспорта, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Ключевые слова: магнитолевитационный транспорт, социальный стандарт, социально-экономический эффект, инвестиции, экономические интересы.

Vladimir L. Belozerov

Road territorial organization of trade Union on the October railway

Russian Trade Union of Railwaymen and Transport Builders

SOCIO-ECONOMIC ASPECTS OF INNOVATION PROJECTS IN THE TRANSPORT

Abstract: Some general aspects of design of magnetic levitation transport are considered. It is noted that during creation of transport on a magnetic suspension the main questions are: traffic safety, social and economic effect which will be reached from introduction of this type of transport, availability and mobility of the population, environmental friendliness, etc.

A new type of transport can be effectively used in long-distance and suburban area of large cities to provide transportation from the center to the airports, sea, river and bus stations and transport hubs. It can be used for the cargo transportation.

Creation of magnetic levitation transport promotes achievement of economic interests of the state and regions, gives rise to the development of promising areas of science and attract young scientists, researchers, development of new technologies, production processes, creation of new workplaces, etc.

Material is intended for scientists, experts of transport, graduate students and students of higher educational institutions.

Keywords: magnetic levitation transport, social standard, social economic effect, investments, economic interests.

Введение

Укрепление экономики страны требует решения задач опережающего, инновационного развития. Стратегия развития и планомерные последовательные действия по модернизации транспорта, совершенствование транспортной системы, в том числе пассажирского комплекса, должны соответствовать основным направлениям экономического и социального развития страны [8, 9]. Высокоскоростное железнодорожное сообщение – это одно из важнейших инновационных направлений формирования современной единой транспортной системы. Оно является катализатором научно-технического прогресса, инновационного развития техники и современных высоких технологий, применяемых как в развитии транспортной инфраструктуры, так и в транспортном машиностроении [1, 3].

Развитие магнитолевитационных систем и технологий

Одним из важнейших инновационных проектов на транспорте является научная и опытно-конструкторская работа в сфере магнитолевитационных транспортных систем и технологий [1, 4, 5]. На

основе отечественных научных фундаментальных исследований, практических зарубежных наработок [10] в настоящее время широко развернута работа по научному поиску оптимальных решений создания отечественного магнитолевитационного транспорта. В результате из разряда неосуществимых, дорогих, неэффективных этот инновационный проект приобретает все более реальные практические очертания [6]. В этом большая заслуга новаторской мысли и реальных действий отечественной науки и инжиниринга, в том числе исследований, проводимых Научно-образовательным Центром инновационного развития пассажирских железнодорожных перевозок ПГУПСа [3, 4, 6].



Рис. 1. Алгоритм реализации инновационных проектов на транспорте

На рис. 1 представлен укрупненный алгоритм реализации инновационного магнитолевитационного транспортного проекта. Эффекты, получаемые от нового вида транспорта должны через экономические интересы побуждать потенциальных инвесторов к вложению средств на разработку инновационного проекта.

Поэтому сегодня очень важно аргументировано и обосновано принимать решения на уровне правительства по дальнейшему развитию этого инновационного проекта создания магнитолевитационного вида транспорта, поэтапно продвигаться вперед, видя конечную цель.

Магнитолевитационный транспорт является высокоскоростным – это проект, требующий значительных длительных инвестиций и единовременных капитальных вложений. Важно учесть, что, как и высокоскоростные магистрали (ВСМ), этот проект наукоемкий, но с более широким спектром привлекаемых различных направлений науки, требующий исследований в новых научных сферах, а также серьезных практических проработок. Разработка таких проектов вызывает объективную необходимость привлечения дополнительных инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, требует немалых затрат на фундаментальные исследования в новых сегментах науки и техники.

Вот почему важно и необходимо видеть содержание и структуру социальных и экономических эффектов, прямых и косвенных, в сопряженных отраслях и сферах, правильно их оценивать и сопоставлять с затратами. В сфере пассажирского сообщения социальные и экономические эффекты сопоставимы с ВСМ. Высокая скорость, сокращение времени в пути, возможность передвижения из центра - в центр мегаполисов, экономичность и т.п. [2].

Кроме того, магнитолевитационный транспорт может выполнять перевозки на «коротком плече» – в пригородном сообщении [7], а также выполнять функции общественного транспорта в крупных городах, связывая их центры с аэропортами, автомобильными, морскими и речными вокзалами, транспортно-пересадочными узлами.

Подобная универсальность позволяет иметь меньше инфраструктурных затрат, в первую очередь по землеотводу, легче вписываться в городскую среду и пригородную зону. Причем следует иметь в виду, что в городской среде, как и в пригородной зоне, самый высокий спрос и пассажиронапряженность, а, следовательно, и более высокая (быстрая) окупаемость при сбалансированной тарифной политике [5, 7]. Важным аспектом является возможность быстрого перемещения из пригородной зоны в вокзальную сеть мегаполисов (аэро и автовокзалы, железнодорожные, речные и морские вокзалы). Это позволяет повысить

доступность, расширить пассажирам выбор услуг, оптимально загрузить и тем самым активизировать работу классических видов транспорта. Повышение доступности транспорта является одним из важнейших социальных стандартов, отражающих повышение качества жизни, что и позволит выполнить пригородный и городской магнитолевитационный транспорт.

Важно учитывать большой социальный эффект в сфере экологии: уменьшение выбросов, а также снижение шума, вибрации и т.п., что особое значение имеет в крупных населенных пунктах и рекреационных зонах, т.к. оказывает меньшее воздействие на человека и окружающую среду. Исследования показывают, что выбросы углекислого газа на железных дорогах, в 3-5 раз ниже, чем на автотранспорте и в авиации, а на магнитолевитационном транспорте они напрямую отсутствуют совсем, и лишь косвенно могут быть оценены при получении электроэнергии только от тепловых электростанций.

Важным социальным эффектом является высокий уровень безопасности и экономичности, который обеспечит новый вид наземного транспорта. За время эксплуатации и практического использования в Китае, Германии, Японии и других странах не произошло ни одного несчастного случая со смертельным исходом [10]. Расчеты показывают, что количество пассажиров, перевозимых магнитолевитационным транспортом на единицу затраченной энергии, будет в несколько раз больше, чем у авиационного транспорта.

Широкие возможности открываются для грузовых и особенно контейнерных и контрейлерных перевозок. Очевидно, что практическое внедрение и апробирование новых транспортных систем необходимо начинать в сфере перевозок грузов. И лишь на основе анализа и изучения полученного опыта переходить к пассажирским перевозкам.

Исключительно важным является адресное размещение трассы. На предпроектной стадии важно учесть специфику региона, уровень его развития, плотность населения, наличие устойчивых пассажиро- и грузопотоков, состояние транспортной сети, уровень социального запроса общества на скоростные перевозки и другие факторы.

Магнитолевитационный транспорт и интересы инвесторов

Значительные капитальные вложения в новый вид транспорта требуют наличия источников финансирования. В качестве потенциальных инвесторов могут выступать государство, регионы (субъекты федерации) и частные инвесторы, а также их объединения в форме частно-государственного партнерства. У каждого потенциального инвестора

имеются свои экономические интересы, которые преследуют получение прямых экономических эффектов, а также получение косвенных и сопряженных с ними социальных эффектов, которым может быть дана и экономическая оценка. В частности – это повышение качества жизни, повышение транспортной доступности населения и качества поездки, появление нового дополнительного пассажиропотока и другие.

Экономические интересы государства, регионов и частных инвесторов которые достигаются при реализации магнитолевитационного проекта, как особого вида высокоскоростного транспорта, условно сгруппированы и представлены следующим образом.

Государственные экономические интересы:

-Устойчивое развитие экономики. Предполагает планомерное и пропорциональное развитие всех отраслей хозяйства, в том числе инфраструктурных. Транспорт, включая скоростной и высокоскоростной, которому относится магнитолевитационный, обеспечивает экономические связи и способствует развитию экономики.

-Рациональное размещение производительных сил. Высокие скорости транспорта позволяют сжать временной и транспортный каркас страны. Это в свою очередь является важным фактором открытия новых производственных центров, точек роста экономики в местах с богатыми природными ресурсами, удаленными от мегаполисов.

-Укрепление производственного и транспортного потенциала страны, развитие промышленности и транспортного строительства. Развитие скоростного, высокоскоростного транспорта вызывает мультипликативный эффект в смежных отраслях: транспортного машиностроения, добывающей и обрабатывающей промышленности, строительства, в сфере производства элементов и объектов транспортной инфраструктуры и т.п.

-Укрепление социально-экономических связей между регионами. Новый вид скоростного транспорта позволяет укрепить межрегиональные связи, ускорить товарный обмен, удовлетворить деловые связи, усилить социальные и экономические отношения регионов.

-Укрепление внешнеэкономических связей. Позволяет активизировать обмен международным опытом в сфере новых транспортных систем, привлечь и использовать возможности внешних инвесторов.

-Развитие научно-технического прогресса в сфере фундаментальных исследований, в отраслях транспортного строительства (инфраструктура),

транспортного машиностроения (подвижной состав) и сопряженных с ними направлениях науки и техники.

-Подготовка и привлечение новых научных сил, молодых ученых, исследователей, а также инженеров и специалистов при реализации и внедрении проектов магнитолевитационного транспорта.

Региональные экономические интересы:

-Развитие производственно-экономического потенциала регионов. Новый вид транспорта будет дополнительным импульсом для развития производства подвижного состава, элементов и комплектующих систем транспорта и его инфраструктуры, региональной энергетики, а также металлургии, строительных материалов и других сопряженных производств.

-Развитие новых производств, локализация в регионах производства для магнитолевитационного транспорта. В регионах в зоне тяготения скоростного транспорта будут размещены новые производства для его прокладки и эксплуатации. При необходимости использования зарубежных аналогов – локализация производства.

-Развитие предпринимательской деятельности, малого и среднего бизнеса, открытие новых рабочих мест. Это происходит из необходимости наличия различных обслуживающих объектов и структур в сфере поставок и предоставления сопутствующих услуг в зоне тяготения. Кроме того представители малого и среднего бизнеса сами будут активными пользователями нового транспорта.

-Укрепление и пополнение региональных бюджетов. За счет роста стоимости основных фондов и налогооблагаемой базы по имуществу, активизации малого и среднего бизнеса, улучшения демографии, роста численности трудовых ресурсов в регионе увеличится доходная часть бюджета.

-Развитие рекреационных зон, экотуризма, экскурсионных программ. Экологический транспорт будет способствовать расширению и открытию новых зон отдыха жителей крупных мегаполисов. А также развитию программ по: семейному отдыху, велотуризму, экскурсиям в исторические и знаменитые места регионов.

-Активизация культурного обмена, расширение культурных, просветительных и образовательных программ. Открываются большие возможности для краткосрочных поездок граждан, учащейся молодежи для изучения отечественной истории и культурного наследия, краеведческих и просветительских целей.

Частные экономические интересы:

-Экономические интересы частных инвесторов заключаются в первую очередь в развитии бизнеса, расширении и диверсификации капитальных вложений. При этом важным целевым фактором является получение нормы прибыли на инвестированный капитал в соответствии с финансовой стратегией. С точки зрения экономической стратегии частного инвестора важным является формирование имиджа инновационного инвестора, партнера государства. Это позволит вести более устойчивую экономическую инвестиционную деятельность, формировать портфель заказов, быть в числе лидеров бизнеса.

Государство и регионы могут участвовать в проектах не только прямым инвестированием, но и посредством экономических стимулов федерального и регионального уровня через системы налогообложения, предоставления инвесторам налоговых льгот, гарантий, льготных кредитов и др. Инвесторы могут объединять ресурсы на принципах государственно-частного партнерства и применять другие экономические инструменты.

Операционная деятельность нового транспорта, безусловно, должна быть безубыточной. Очевидно, что регулятором в этом виде перевозок должно быть государство, определяющее тарифную политику и при необходимости возмещение части издержек перевозчику на основе долгосрочных контрактов с учетом всех социальных и экономических эффектов и выгод.

Заключение

Магнитолевитационный транспорт, как инновационный проект, потребует финансирования со значительным сроком прямой возвратности. Данный проект при полной и всесторонней экономической оценке социальных факторов, таких как занятость населения, новые рабочие места, косвенные и сопряженные эффекты в смежных отраслях промышленности, транспортном строительстве и других, будет эффективным, а значит более реальным и достижимым. Он дает дополнительный импульс развитию научно-технического прогресса, станет сферой привлечения новых научных ресурсов, молодых ученых и исследователей, основой формирования новых комплексных научных центров, полигоном реального импортозамещения на транспорте отечественными инновационными разработками.

Библиографический список

1. Зайцев А. А. Транспорт на магнитном подвесе: монография / А. А. Зайцев, Г. Н. Талашкин, Я. В. Соколова. – СПб, ПГУПС, 2010. – 160 с.
2. Белозеров В. Л. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт, т.2 / В. Л. Белозеров, М. М. Уздин – СПб.: Информационный центр «Выбор», 2003. – С.385–390.
3. Белозеров В. Л. Роль инновационных проектов высокоскоростного транспорта в социально-экономическом развитии регионов / Магнитолевитационные транспортные системы и технологии // Труды 2-й Международной научной конференции, Санкт-Петербург. 17–20 июня 2014. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 373–376.
4. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология / Под ред. В.А.Гапановича. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – С. 476.
5. Белозеров В. Л. Железнодорожные пассажирские перевозки: Монография / В. Л. Белозеров, Г. В. Верховых, А. А. Зайцев, А. Г. Котенко и др.; под ред. Верховых Г.В. – СПб.:Северо-Западный региональный центр «РУСИЧ», «Паллада-медиа», 2012. – С. 332–359.
6. Зайцев А. А. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны: Монография / А. А. Зайцев, Е. И. Морозова, Г. Н. Талашкин, Я. В. Соколова – СПб.:Издательство ООО «Типография «НП-Принт», 2015. – С. 140
7. Белозеров В. Л. Экономика транспорта: управление в рыночных условиях: Монография / В. Л. Белозеров, А. Н. Ефанов, А. А. Зайцев и др.; под ред. Белого О. В. – СПб.: Издательство «Наука», 2014. – С.163–195.
8. Акулов М. П. Пассажирский комплекс железных дорог: Монография – СПб.: Издательство ООО «Типография «НП-Принт», 2014. – 464 с.
9. Шнейдер М. А., Проскурякова Е. А. Рынок пригородных железнодорожных перевозок: управление и экономика: Монография – СПб.: Издательство ООО «Типография «НП-Принт», 2012. – 288 с.
10. JR-Maglev (электронный ресурс). Режим доступа: www.en.wikipedia.org/wiki/JR-Maglev_(дата обращения 11.03.2016).

References

1. Zaitsev A. A., Talashkin G. N & Sokolova Y. V. *Transport na magnitnom podvese* [Transport magnetic suspension]. St. Petersburg, 2010. 160 p.

2. Belozеров V. L. & Uzdin M. M. *Skorostnoj i vysokoskorostnoj zheleznodorozhnyj transport - High-speed and high-speed railway*. St. Petersburg, 2003, vol. 2, pp.385-390.

3. Belozеров V. L. Rol' innovacionnyh proektov vysokoskorostnogo transporta v social'no-ehkonomicheskom razvitii regionov [The role of innovative projects in the transport of high socio-economic development of regions]. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii"* (Works 2nd International scientific conference "Maglev transport systems and technologies"). St. Petersburg, 2014, pp. 373-376.

4. Antonov Yu. F. & Zaitsev A. A. *Magnitolevitacionnaya transportnaya tekhnologiya* [Magnet levitation transport technology]. Moscow, 2014. 476 p.

5. Belozеров V. L., Bessolicyn A. S., Verhovyyh G. V., Grachev A. A., Epifanov D. A., Efanov A. N., Zajcev A. A., Ivanov S. O., Kotenko A. G., Kotenko O. V., Kudryavcev V. A., Makarova E. A., Nikiforova O. A., Pazojskij YU. O., Sergeeva T. G., Sokolova YA. V., Talashkin G. N. & SHutov I. N. *ZHeleznodorozhnye passazhirskie perevozki* [Rail passenger]. St. Petersburg, 2012, pp. 332-359.

6. Zaitsev A. A. , Morozova E. I., Talashkin G. N. & Sokolova Ya.V. *Magnitolevitacionnyj transport v edinoj transportnoj sisteme strany* [Magnet levitation transport in an integrated transport system in the country]. St. Petersburg, 2015. 140 p.

7. Belozеров V. L., Belyj O. V., Efanov A. N., Zajcev A. A. & Pantina T. A. *EHkonomika transporta: upravlenie v rynochnyh usloviyah* [Transport Economics: Management in the market conditions]. St. Petersburg, 2014, pp. 163-195.

8. Akulov M. P. *Passazhirskij kompleks zheleznyh dorog* [Passenger complex of railways]. St. Petersburg, 2014. 464 p.

9. Schneider M. A. & Proskuryakova E. A. [Market suburban rail transport: management and economics]. St. Petersburg, 2012. 288 p.

10. JR-Maglev URL: www.en.wikipedia.org/wiki/JR-Maglev (11/03/2016).

Сведения об авторе:

БЕЛОЗЕРОВ Владимир Леонидович, доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика транспорта» ПГУПС, представитель РОСПРОФЖЕЛ в Северо-Западном федеральном округе РФ. E-mail: v.belozеров@mail.ru

Information about author:

Vladimir L. BELOZEROV, Doctor of Economics, Professor of the Department "Transport Economics" PSTU, ROSPROFZHEL representative in the Northwest Federal District. E-mail: v.belozеров@mail.ru

УДК 629.439; 629.027

W. Li, D. Li, X. Zhang, J. Cao

School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University

STATUS AND RESEARCH PROGRESS OF THE LINEAR RAIL TRANSIT SYSTEM IN CHINA

Дата поступления 19.05.2015

Решение о публикации 14.06.2015

Дата публикации 28.03.2016

Abstract: The linear rail transit system (LRTS) has the advantages such as high performance, low construction cost, easy maintenance, friendly with the environment, the researchers all over the world therefore has focused their interests on the LRTS. Despite its late start, China is marking a rapid progress on the study of the linear rail transit system. The LRTS in China can be divided into two types: maglev train system and the linear metro system. This article will revolve around the two aspects above to address the develop status and the newly research progress of the LRST in China. Meanwhile, the article also presents the research progress of the high-temperature superconducting (HTS) linear motors used for LRTS.

Key words : Rail transit, maglev train, linear metro, HTS linear motor, research progress

INTRODUCTION

Linear motor can provide the linear thrust independent from any transmissions. Characterized by the advantages such as simple structures, high reliability, long service life and easy maintenance; the linear motor has wide prospects in the applications such as rail transit, electromagnetic launchers, servo system, etc., [1-4]. According to the structural from, the linear motor can be divided into two parts: the tubular linear motor and the flat linear motor. Due to the symmetrical structure, the normal forces of the tubular linear motor is counteracting with each other, thus the tubular linear motor is not influenced by the normal force. Therefore, it is widely utilized in the servo system and the linear actuators [2, 5, 6]. However, the flat linear motor is characterized by the simple structure and low construction cost. So the flat linear motors are applied to the applications such as rail transit and electromagnetic launchers [7-9].

The LRTS is propelled by the linear motor and guided by the wheel/rail system or the electromagnetic guidance system. As early as 1905, the scholars

had advised to propel the trains by using the linear motor. Since that, the researches of the applications of linear motor to rail transit have been addressed in many countries such as Germany, Japan, the United Kingdom, Soviet Union, America, Canada, French, Korea, Switzerland, and China, and gotten rapid and very important progress. Up to now, there are more than 20 lines have been launched into commercial operation [10-12].

Despite its late start, China is marking a rapid progress on the research of the LRTS. Southwest Jiaotong University constructed the first maglev trains in 1994, and then the man-load test is conducted in the test facilities. The test facilities have 4 seats. It is 4T weight. During the test operation, the levitated height is 20mm, and the operation speed is 30km/h [13-21]. In 2002, cooperated with Germany, China constructed the world's first commercial maglev railway demonstration line in Shanghai, the total length of the line is 29.86km, and the operation speed is 430km/h. The China's first linear metro-Guangzhou metro line 4 was constructed in 2005 by China South Locomotive and Rolling Stock (CSR) and Kawasaki Heavy Industries (KHI). The whole line is 43.65km, maximum operation speed is 90km/h, and the maximum climb capability is up to 70‰. After that, China constructed the Guangzhou subway line 5 and Airport Beijing City, etc., by itself.

During the operation of the linear rail transit system, the air gap between the primary of the motor installed in the vehicles and the secondary flatted along the rails will changes because of the installation accuracy, shake of the components of the machine, variations of the loads and the road conditions. To assure the safe and stable operation, the air gap of the linear motor is generally designed with a range from 10mm to 100mm [10, 22, 23]. As we all know that the air gap flux density is decreased quickly with the air gap increasing. Furthermore, the end effect will also affect the flux density. Thus, the linear motor has lower efficiency and power factor than the rotation motors.

High-temperature superconducting (HTS) materials can transport current with low losses. Therefore, the machine developed by HTS materials has higher efficiency than the machine developed by conventional wires. Besides the high efficiency, the machine has other advantages such as small volume, less weight. In addition, the cooling medium is liquid nitrogen; the cost is also cut down. So the research on HTS linear motor has attracted wide attentions of the scholars all over the world. Japan is the first country who studies the applications of HTS technology to LRTS. In 1999, the researchers in Waseda University developed a single-sided HTS linear appliance integrated the levitated component and the propelled component. The levitated component is composed of 4 HTS bulks and permanent magnet rails, whereas the propelled component is composed of a zero field HTS bulk and the three-phase copper windings flatted along the tracks [24]. In 2002, the team developed a double-sided HTS linear motor, and

analyzed the performances of the machine by finite element method [25-27]. The researchers in Kyushu University developed a double-sided HTS linear synchronous motor for elevator. The motor is 4 poles. The stator is developed by conventional copper wires and the rotor is constructed with HTS bulks [28-30]. In 2005, the same team in Kyushu University developed a new HTS reluctance motor and the thrust of the motor was optimized [31]. In 2004, Gorazd Stumberger developed a HTS linear synchronous motor used for electromagnetic launcher system. The magnets of the motor are made of HTS bulks. The scholars in Seoul National University developed an HTS linear synchronous motor in 2002. The primary consists of 6 Bi-2223 HTS coils with double pancake racetrack shape. The secondary is formed from 4 permanent magnets. The operation temperature for the HTS coils is 33K, the rated current is 150A, and the air gap is 12mm. J. Kellers et. al. develop an HTS linear motor used for industry. The BSCCO-2223 multi-fiber HTS wires are adopted. The primary consists of 36 double pancake HTS coils. The rated frequency is 25Hz, Max thrust is up to 6000N [32]. The researchers in Portugal developed a fully HTS linear synchronous motor. The primary coils are developed by using first generation HTS wires; whereas the secondary is composed of two single-domain YBCO bulks [33-35].

In the field of the application of the high-temperature superconducting (HTS) technology, China also makes a great progress. In 2000, prof. Wang Jiasu cooperated with Wang Suyu completed the works of the world's first man-load HTS maglev vehicle. In 2009, prof. Fang Jin with Beijing Jiaotong University developed a single-sided HTS linear induction motor used for linear metro. During the operation, the machine gained a maximum speed 3.5m/s and the maximum thrust 1000N. In the following sections, the status of the linear rail transit system in China will be detailed.

MAGLEV TRAINS

Magnetic levitation transport, or maglev, is a radically new form of transportation that suspends, guides, and propels vehicles via electro-magnetic energy. The maglev train is composed of three systems: levitated system, propulsion system and the guide system. According to the operation speed, the practical maglev trains in China can be divided into two types: the high speed maglev train (>400km/h) and the medium-low speed maglev train (<200km/h). According to the materials of the field coils, the maglev train can be divided into two types: the conventional maglev train and the superconducting maglev train.

A high speed maglev trains

China cooperated with Germany constructed the world's first commercial operation maglev demonstration line in 2001. The line starts from the Longyang Road station in the west and ends up in Pudong international airport station, as shown in

Fig. 1. The entire line is 29.863km.

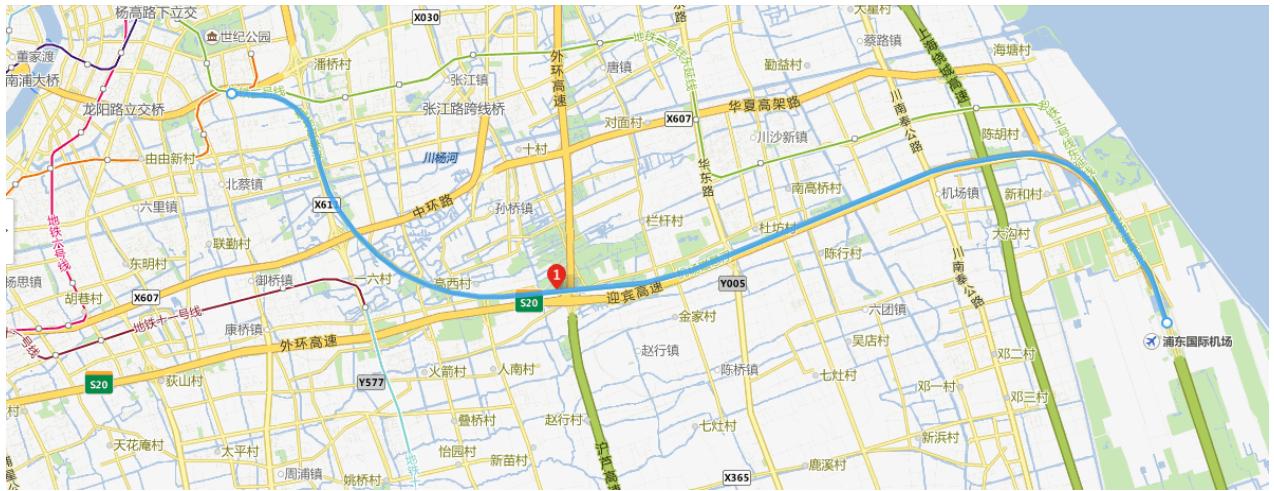


Fig. 1. Route map of Shanghai Maglev Train



Fig. 2. Shanghai high speed maglev train



Fig. 3. Maglev train is passing through curves

The trains of Shanghai high speed maglev train is shown in Fig. 2. The Shanghai high speed maglev train started to pre-operate in Dec. 31st, 2002. And its commercial operation began in Jan 4th, 2003. The designed maximum speed is 430km/h, which is only less than the fly speed of the planes. During the daily operation, the operation speed is about 380km/h. After the Yong-Wen EMU accident, the operation speed is limited to 301km/h. The whole journey from Beijing to Shanghai only takes 8 minutes. The maximum turn radius is 8000m and the minimum turn radius is 1300m. Thus the passengers in the trains cannot feel the train is turning.



Fig. 4. Unloaded test operation of the maglev train

As shown in Fig. 4, during the unloaded test operation, the maximum operation speed of the train achieves 431km/h.

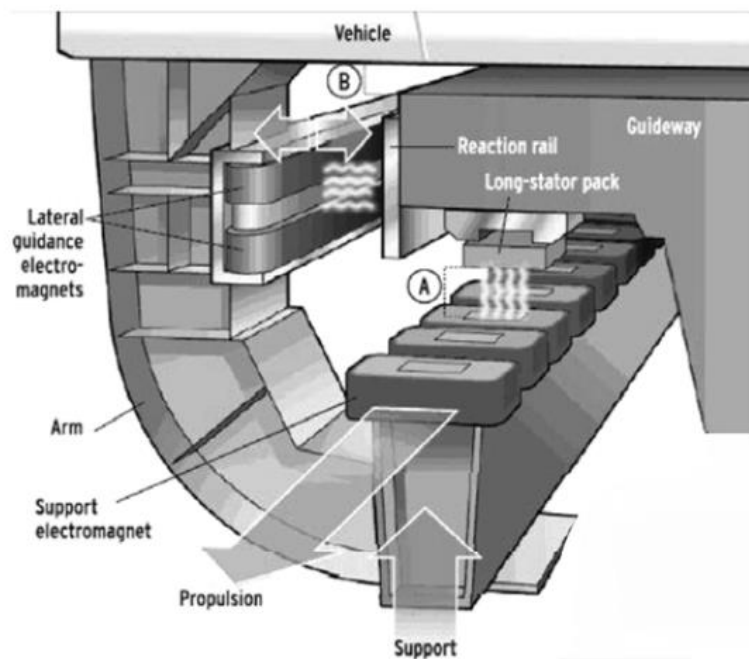


Fig. 5. Schematic diagram of the maglev train

There are three primary types of maglev technology: one that relies on superconducting magnets (electro-dynamic suspension, EDS), one that relies on feedback controlled electromagnets (electromagnetic suspension, EMS), and a

newer potentially more economical system that uses permanent magnets (Inductrack). Japan and Germany are active in maglev research, producing several different approaches and designs. In one design, the train can be levitated by the repulsive force of like poles or the attractive force of opposite poles of magnets. The train can be propelled by a linear motor on the track or on the train, or both. Massive electrical induction coils are placed along the track in order to produce the magnetic field necessary to propel the train.

Shanghai maglev train adopted Germany technology. The field coils are developed by using conventional copper wires. The maglev train is composed of 3 subsystems: the levitated system, the guidance system, and the propulsion system. The levitated system is composed of the electromagnets installed in the bogies and the electromagnets installed along the tracks. By controlling the current of the electromagnets, the air gap is within 10mm. The induction plates are installed in the both side of the tracks, thus, by controlling the current of the electromagnets installed in the vehicles, the vehicles can be limited in the center of the tracks.



Fig. 6. Route of Shanghai-Hangzhou maglev train

After several years' operation experiences, China is considering maglev as a possible technology option for building a planned high-speed rail network to connect major cities, although the cost may make this more difficult. Talks with Germany on the possible construction of a second Transrapid maglev rail linking Shanghai to Hangzhou have started. The Shanghai-Hangzhou maglev line would become the first inter-city Maglev rail line in commercial service in the world. The line will be an extension of the only other Maglev line in commercial service, the Shanghai airport Maglev line. Shanghai-Hangzhou high

speed maglev train had been approved in 2006. The early planning length is 175km. the Shanghai segment is about 70km and the Zhejiang segment is about 105km, as shown in

Fig. 6.

The Shanghai-Hangzhou maglev train was due to start construction in 2010 and the total investment is about 22 billion Yuan (CNY). However, due to the route optimization problem, the construction was put off for several times. After several adjustments, the line was finally determined. The total line is now 199.44km. The Shanghai-Hangzhou maglev intercity segment is 164.58 km and the Shanghai segment linked to the Shanghai maglev line is 34.86 km.

The project has not yet started because that there are still some problems to be settled: the first one is the potential risk of radiation, the designed distance from the residential area is only 22.5m, which is far less than the general distance 200m. Thus, the residents along the planning line disagree to construction of the maglev train. The second one is the safety. Since the Germany test line and the Shanghai maglev train occurs accidents, people are worrying about the safety of the maglev trains. The third one is the commercial value. The EMU travelling from Shanghai to Hangzhou takes 78 minutes. The high-speed railway takes 48 minutes. While the maglev trains takes 38 minutes, it is only 10 minutes shorter than the high-speed railway, but the cost will be several billions which is much larger than the high-speed railway. In addition, the maglev train cannot be directly connected with the existing railway system, the compatibility is less than the high-speed railway. Thus, large-scale application of high-speed maglev train is still a long way to go.

B Medium-low speed maglev trains

The medium-low speed maglev trains is aimed to the intercity railway. The operation speed is below 200km/h. compared with the high-speed maglev trains, it is energy saving, friendly with the environment, low construction cost. It can be used to instead of the light railway and the subway. The research on the maglev trains in China begins 1980s. China's first maglev trains test line was developed by the researchers in Southwest Jiaotong University in Oct. 1994. The prototype train has 7 seats, the levitated height is 8mm, and the total weight is 4t. The operation speed is 30km/h. the project of the Qingchengshan maglev train demonstration line was approved in 1998. And the construction was begun in Apr. 2001. The train operated in the rails was succeeded testing in Apr. 30th, 2006. The whole line of the Qingchengshan demonstration line is 419.925m and the gross investment is 30 million. The Qingchengshan demonstration line is the first maglev train designed, developed, and constructed all by China itself. Qingchengshan medium-low speed maglev train line is electromagnetic attractive active levitated trains. The train has two operation models: automatic control

model and the driver control model. The total weight of the train is 18t, the levitated height is 8-10mm and there are 28 seats in the train. The total capacity is 60 persons.

Fig. 7 shows the Qingchenshan maglev train.



Fig. 7. Qingchenshan maglev train

China's first medium-low speed maglev train was completed by the researcher in National University of Defense Technology in Sep. 2001. The test line is 204m, and a turning with radius of 100m and a slope with 40‰ gradient was constructed. The test line can meet all the test works for the maglev trains. The maglev trains developed by National University of Defense Technology are 20t. The vehicle is 15m and the width is 3m. The max load is up to 10t. Each unit has 44 seats and the train can load more than 130 persons. The designed operation speed is 150km/h. After 200km test works, the train can even operate very well. And all the technical performance is good; the prototype train has reached to the actual operating line standard. The maglev train can become a new type of transportation. The test line of China's first medium-low speed maglev train developed by National University of Defense Technology was shown in

Fig. 8.



Fig. 8. China's first medium-low speed maglev train test line

The medium-low speed maglev train aimed to practical applications was constructed by Tangshan railway vehicle co., LTD, Beijing holding magnetic levitation technology development co., LTD, and National University of Defense Technology in May 13th, 2009. And then the test works were carried out immediately. The train has 3 units. It is composed of two side vehicles with the same structure and an intermediate vehicle. The operation speed is about 100-120km/h. the side vehicles can carry 100 persons, whereas the intermediate vehicle can carry 120 persons. The service life is over 25 years. The train is supplied by DC 1500V. the maximum slope gradient is 70‰, the turning radius of the line is 50-100m.

Fig. 9 shows the developed practical medium-low speed maglev train .



Fig. 9. Practical medium-low speed maglev train

C Applications of medium-low maglev train

Beijing subway line S1 is the first rail transit which adopted the medium-low speed maglev technology. As shown in

Fig. 10, Beijing subway line S1 starts from the Cishousi station in the east connected with Beijing subway line 6, passes through Haidian and Shijingshan, and ends up in the Shimenyong station in the west. The entire line is 19.985km. Beijing subway line S1 was supposed to start in Dec. 28th, 2010. But, the construction was ceased due to the problems such as the selection of the trains, disagreement of the environment protect, and the resettlement of the residents lived along the planning line. The medium-low speed maglev demonstration line (S1) project was approved by the Beijing city development and reform commission (NDRC) in Oct. 2013. And then the stagnant project were returned to work. The whole project is expected to complete in 2015.



北京地铁门头沟线（S1线）于2013年12月西段试运营，2015年全线开通

Fig. 10. Route of Beijing subway line S1



Fig. 11. Medium-low speed maglev train running in Beijing subway line S1

The medium-low speed maglev train running in the S1 in future is developed by Beijing holding magnetic levitation technology development co., LTD, and National University of Defense Technology. The developed medium-low speed maglev train is shown in

Fig. 11. The parameters of the medium-low speed maglev train is outlined as follows: maximum operation speed 100km/h, 6 units, length of the train 89.6m, capacity of the train 1032 persons. The gross investment of the project is

6.42 billion. The investment used for environment protect is 94.78 millon, about 1.48% of the gross investment.

Besied Beijing, another city Changsha has also planning to develop a medium-low speed maglev line. The planning route of Changsha medium-low speed maglev train is shown in

Fig. 12. The line starts in the north of the East Squire in Changsha south train station, along the Laodong Road, Huangxing Avenue, and airport express, the terminal station is the Huanghua airport station. The line is 18.7km, the whole line is elevated. The gross investment is about 4.2 billion.



Fig. 12. Planning route of Changsha medium-low maglev train

The formal construction of the Changsha medium-low speed maglev train begins in May 16th, 2014, and it is planning to operate in 2016. Fig. 13 shows the Changsha medium-low speed maglev train. The train is constructed by CSR. The train has three vehicles in a unit, and the maximum speed is 120km/h. When the project is completed, passengers travelling from Changsha South Station to Huanghua Airport T2 terminal only take 10 minutes.



Fig. 13. Changsha medium-low speed maglev train

According to the estimate, the comprehensive cost of the medium-low speed maglev train system is about 1150-250 million Yuan per kilometer, it is only 2/3-3/4 of the cost of the light rail system in the same area. Since the train is not contacted directly with the rails, thus, the noise is below 62dB. When it is passing from us, even stood 3 meters, we cannot feel any noise. When the medium-low speed train is 1m from us, the radiation is lower than that of the domestic induction cooker. If the distance is extended to 5m, the radiation is less than the electric shaver. When the distance is larger than 10m, the radiation even can not be detected by the professional testing instrument.

China's other cities are planning to build the medium-low speed maglev train. Shenzhen city is planning to construct the subway line 8 which will adopt the medium-low speed maglev train. Tianjin is undertaking the selection of the medium-low speed maglev line. Jinan, Luoyang, Chongqing, et. al. are planing to construct the medium-low speed maglev trains

I LINEAR METRO

Linear metro is rail transportation propelled by linear motor; supported and guided by the rail/wheel system. The technology can rebuilt on the original rails, thus the cost is far low than the maglev trains. Thus, its applications is expanding year by year.

A Guangzhou metro line 4



Fig. 14. Route of Guangzhou metro line 4

The Guangzhou metro line 4 is the first linear metro propelled by linear motors. The whole line is 46km; the segment underground is 16km, the segment overhead is 30km. 18 stations were set up in the line, as shown in Fig. 14. The segment from Wanshengwei to Xinzao was completed in Dec. 26th, 2005. The Xinzao-Huangge segment was finished in Dec. 30th, 2006; Jiaomen station and

Jinzhou station were put into service in Jun. 28th, 2007; the segment from Waishengwei to Chebi south was finished in Dec. 28th, 2009; and the Chebi south-Huangcun segment was completed in Sep. 25th, 2010. From then on, the whole line was completed.



Fig. 15. Linear train in Guangzhou metro line 4

The linear train running in Guangzhou metro line 4 was shown in Fig. 15. The train was developed by CSR Sifang co., Ltd cooperated with Kawasaki Heavy Industries co., Ltd. The vehicle adopted the model “L”, 4 units. The entire train is 71m long, 2.8m wide and the maximum operation speed is 90km/h. The climbing capacity is 70‰, 3 times than the conventional train propelled by rotation motors. The minimum turning radius is only 60m. The train has high ability to overcome faults. When the train loses 1/4 power, it can still run a double line length with rated carrying capacity; when it loses 1/2 power, it can be started at 60‰ slope with rated carrying capacity and can be operated to the nearest station.

Fig. 16 shows the view of the station in Guangzhou metro line 4. The power is supplied by pantograph and the power pick-up shoe. In the open air segment, the power is supplied by the flexible catenary, thus, it can guarantee safety of the maintainers. While in the tunnel, the power is supplied by using the third rail to reduce the works of the project. Due to the light weight and contactless to the rails, the noise during the operation process is much lower than the rotary motor vehicles. The journey taken the linear metro will be more quiet and comfortable.



Fig. 16. View of the station in Guangzhou metro line 4

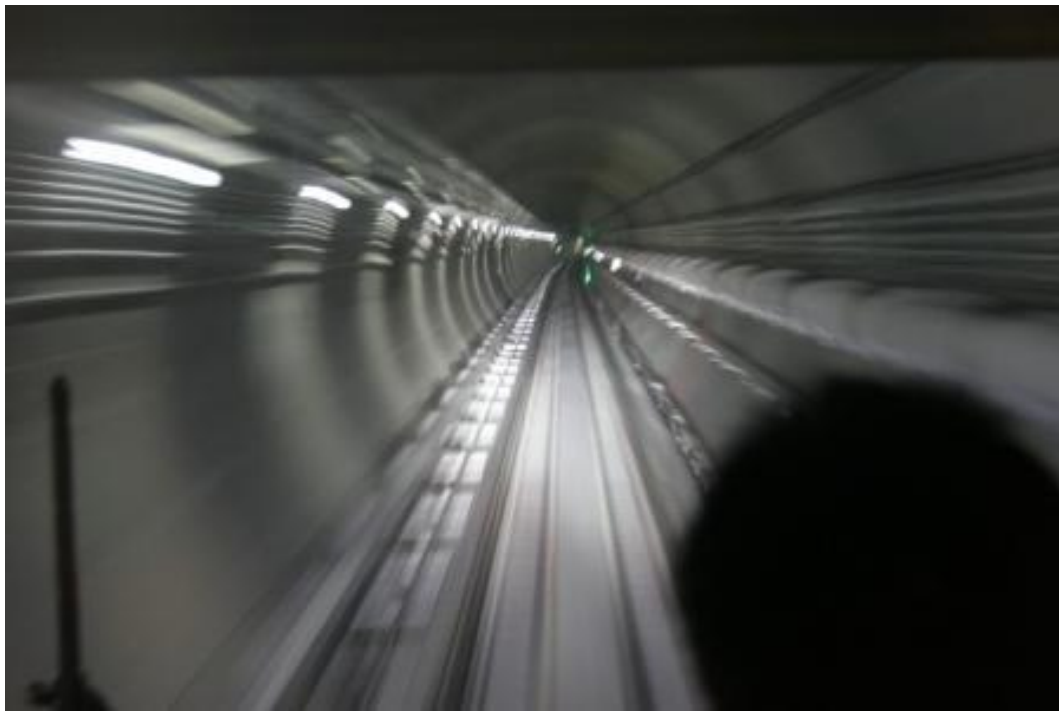


Fig. 17. Linear metro is accelerating in the tunnel

The average acceleration of the Guangzhou metro line 4 during the starting up process is larger than 1.0m/s^2 , so the train can reach up to the operation speed in a few seconds. Fig. 17 shows the acceleration process of the

train in the tunnel. The emergency braking deceleration is over 1.3m/s^2 . The train with over load can stop in the slop gradient of 60‰, and the train without any load can stop in the slop gradient of 70‰.

Fig. 18 shows the main control system of Guangzhou metro line 4. The main control system is composed of the central main control system (CMCS) set in Dashi and Xinzao control center, the soft testing platform (STP) and the Network management system (NMS) in Xinzao control center, the station main control system (SMCS), depot main control system (DMCS), and the training management system (TMS). The MCS adopts two level of management and three level of control distributed structure. The two level of management is central management and station management. The three level of control is central control, station control, and the work field control.

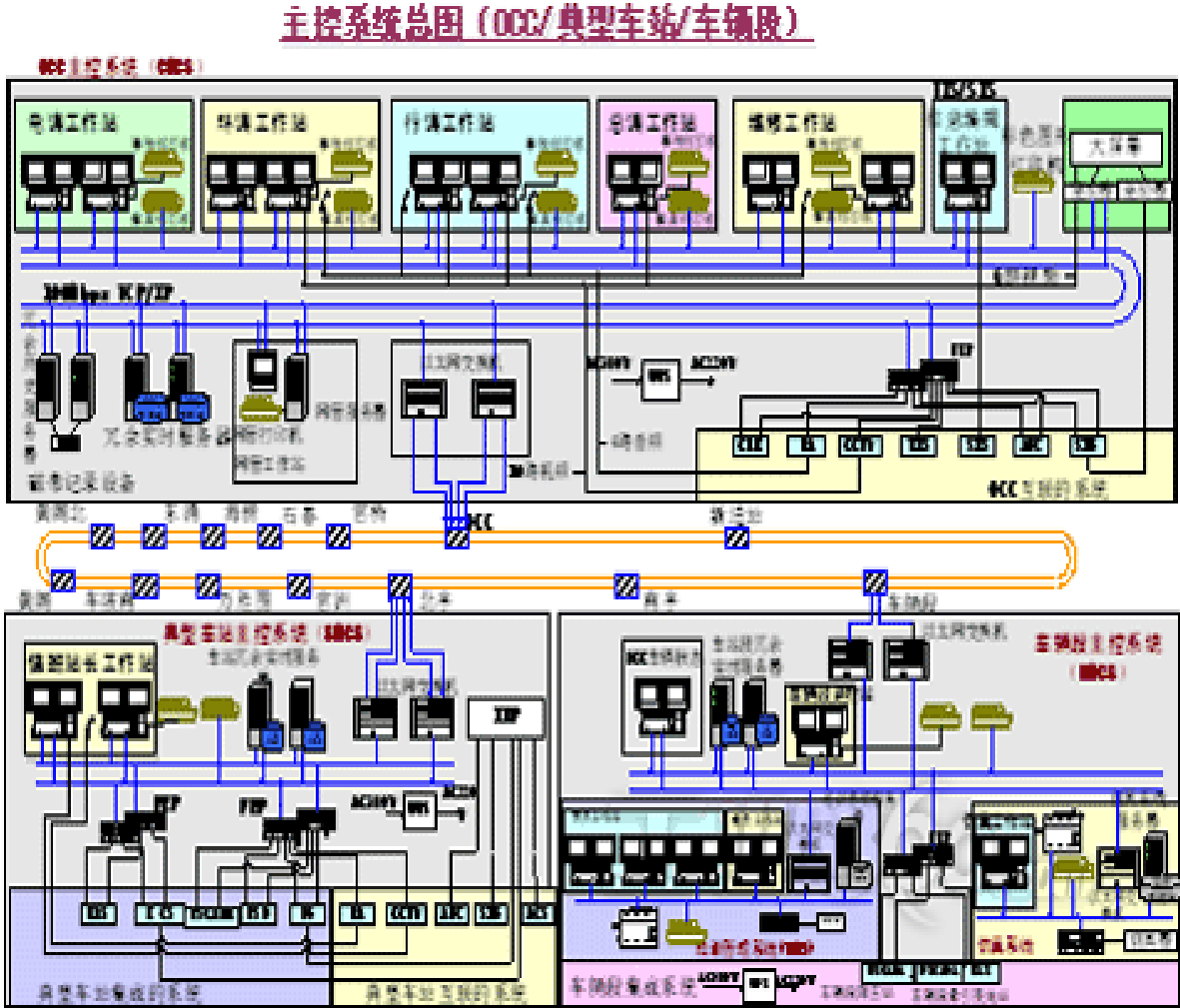


Fig. 18. Main control system of Guangzhou metro line 4

广州市轨道交通四号线南延段（金洲至南沙客运港）线路走向见图 1-1。



Fig. 19. Route of south section of Guangzhou metro line 4

The south section of Guangzhou metro line 4 was started in Jun. 19th, 2013 and it is expected to be completed in 2016. The south section line starts from Jinzhou station and the terminal is the Nansha port, as shown in Fig. 19. The line is 12.6km; all the lines are constructed underground. The train is the same with that operating in Guangzhou metro line 4. The max operation speed is 90km/h.

B Airport Beijing City

The Airport Beijing City is a passenger railway line connected with the Beijing Capital International Airport (BCIA) and the Dongzhimen traffic hub. The Airport Beijing City began was started to construct in Jun. 1st, 2005 and finished in July, 2008, before the Beijing Olympic Games.

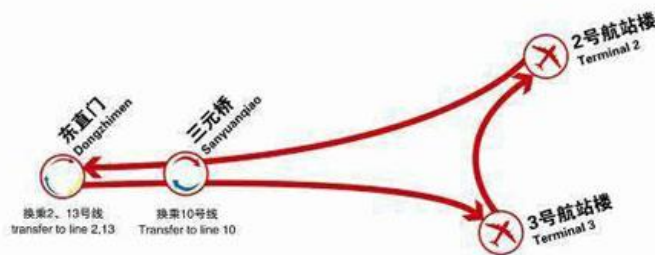


Fig. 20. Traffic map of the Airport Beijing City

As shown in Fig. 20, the Airport Beijing City starts from Dongzhimen station in the west and the terminal is the BCIA T3 station in the east. The entire line is 28.1km. There are 4 stations, Dongzhimen, Sanyuanqiao, T2, and T3 station. The max operation speed is 110km/h. the journey of the whole line takes only 16 minutes. The gross investment of the ABC is 6.223 billion Yuan.



Fig. 21. Trains running in Airport Beijing City

The train running in Airport Beijing City is shown in Fig. 21. The linear motor is constructed by CSR Qingdao Sifang co. Ltd. The train is supplied by the third rail. The rated voltage is DC 750V. The train is marshaling by 4 vehicles. All vehicles are motive vehicle. The train is 67.7m long, 3.2m wide and 3.78m high. The fixed wheelbase is 1.9m. The max speed is 110km/h, but the average operation speed is 80.4km/h. The train has 224 seats, the max capacity of the train is 772 persons (6 persons/m^2).

II APPLICATION OF HTS TECHNOLOGY TO LRTS

A *HTS maglev trains*

The applications of HTS technology to LRTS started early in China. On December 31, 2000, the first crewed high-temperature superconducting maglev train was tested successfully at Southwest Jiaotong University, Chengdu, China. This system is based on the principle that bulk high-temperature superconductors can be levitated or suspended stably above or below a

permanent magnet. The YBCO bulks (77K) constructed by Domestic manufacturer were utilized. When the load is 530kg, the levitated height is 20mm. Fig. 22 shows the scenes citizens are experiencing the HTS maglev train.



Fig. 22. Citizens are experiencing HTS maglev train

Based on the Century HTS maglev train, the scholars in China proposed another comprehensive HTS maglev train system, as shown in Fig. 23. The primary is developed by copper wires and is installed along the rail tracks. The secondary is constructed by using HTS bulk arrays. The HTS bulk array in the center interacts with the primary coils and produced the thrust to propel the train. The HTS bulk arrays in the side of the rail interact with the permanent magnets installed in the rails to produce the levitated force and the guided force.

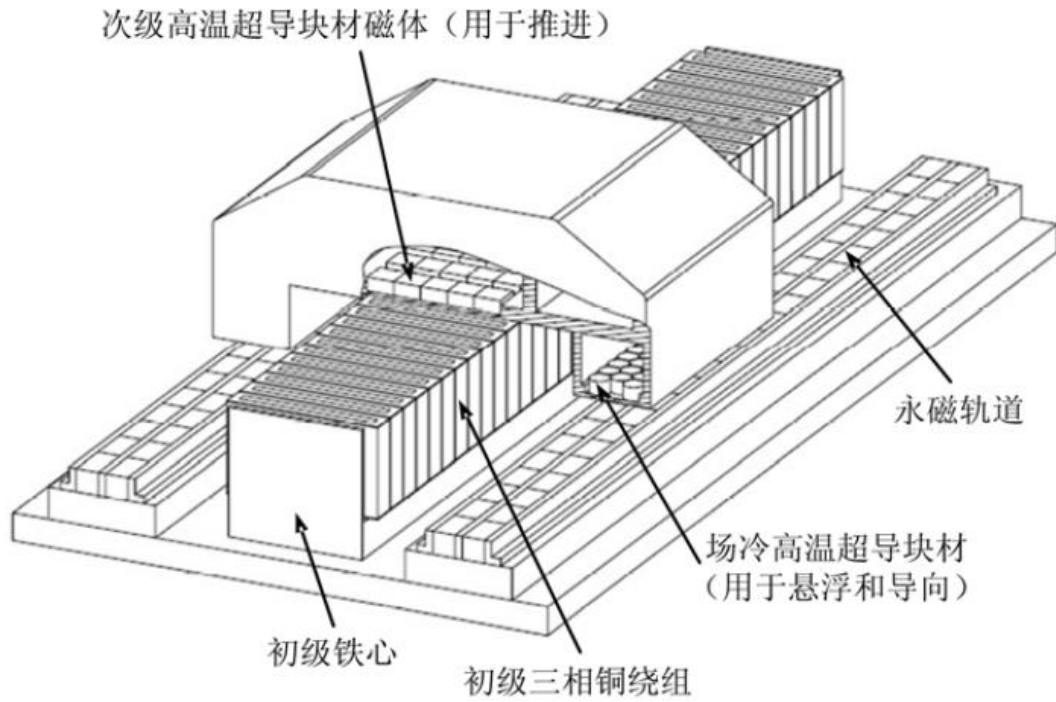


Fig. 23. Comprehensive HTS maglev train system

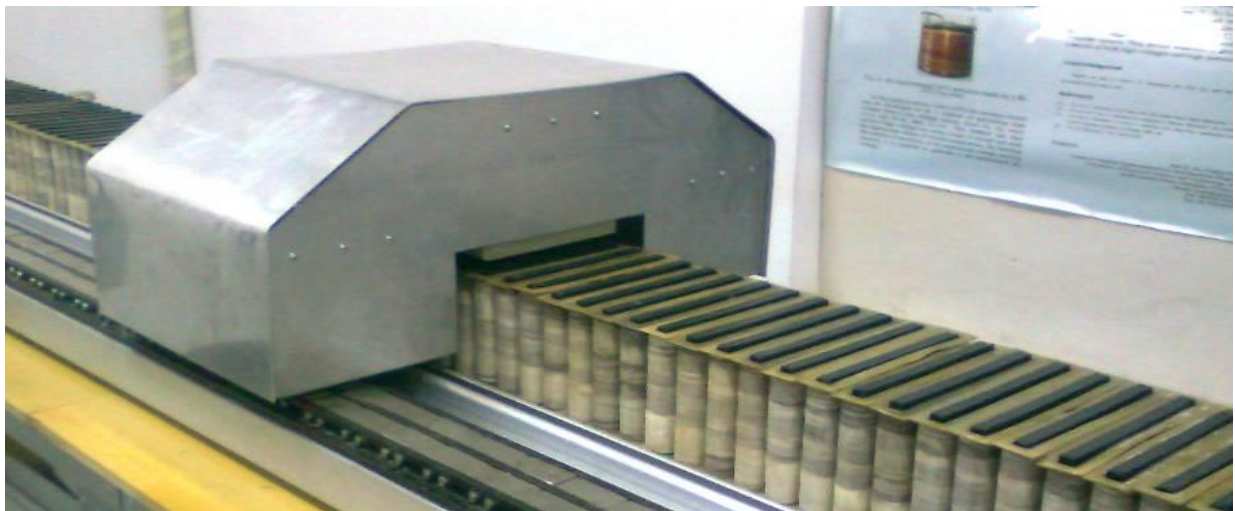


Fig. 24. Developed comprehensive HTS maglev train

Fig. 24 shows the develop prototype of the comprehensive HTS maglev train. The primary is 2.2m long and 0.15m wide. The slot pitch is 30mm; pole pitch is 45mm. the secondary is designed with modules. Each module has a Dewar vessel and 30 HTS bulks.



Fig. 25. Test facilities of the evacuated tube HTS maglev train

In Mar. 2013, the scholars in Southwest Jiaotong University developed the test facilities of the evaluated tube HTS maglev train (ETT). When ETT was operated, the pressure in the tube is only 1/10 of the normal atmosphere pressure. Thus, the resistance of the air will be very small. The train will travel faster. Due to the dimension of the test facilities (the diameter is 6m), the prototype train only was tested with a speed of 50km/h. A larger test facility is planning to be built for the high-speed test works.

B HTS linear metro

Due to the expensive construction cost of the HTS maglev trains, a few researchers has switched their attentions on the HTS linear metro, which is much cheaper than the HTS maglev trains. Prof. Jin Fang in Beijing Jiaotong University developed the first HTS linear induction motor aimed to linear metro, as shown in Fig. 26. The primary consists of Dewar, core, and the HTS coils, whereas the secondary is composed of an aluminum plate and an iron plate. The synchronous speed is 3.5m/s, the peak thrust is larger than 1000N.

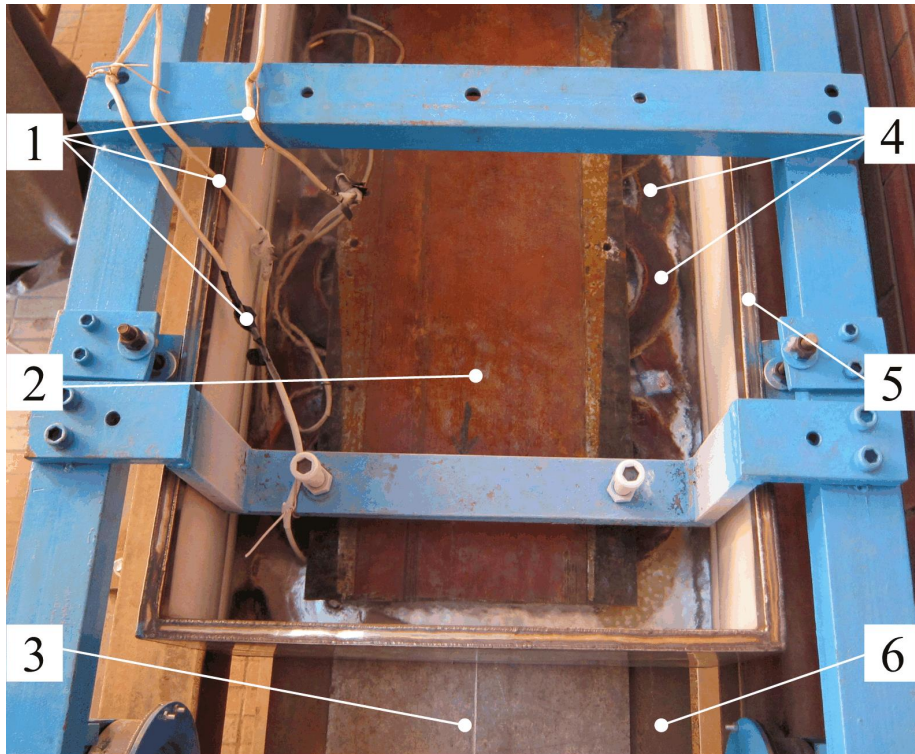


Fig. 26. HTS linear induction motor aimed to linear metro (1-power supply, 2-core, 3-aluminum plate, 4-HTS coils, 5-Dewar, 6-iron plate)

The HTS linear induction motor was tested in a 20m rail. The measured results are shown in Fig. 27. When the operated frequency is set to 4Hz, the speed is 3.35 m/s. The average thrust is 934N; and peak thrust is larger than 1200N.

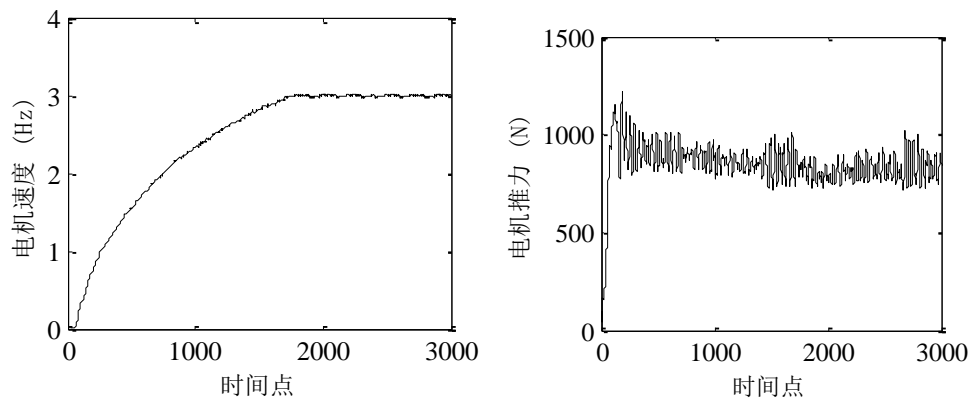


Fig. 27. Measured results of HTS linear induction motor used for linear metro

III CONCLUSIONS

Although China has gain a great progress in the construction and research of the linear rail transit system, it is still a great gap with the foreign advanced technology. As the key technology in 21st century, China addresses great importance to the high-temperature technology, especially the applications of the HTS technology to the industries. By learning the advanced technology and developing by itself, China will play an important role in the linear rail transit system and the application of the HTS technology.

References

1. Li D., Li W., Fang J., & Zhang X. *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 2014 vol. 24, pp. 1-10.
2. Musolino A., Rizzo R. & Tripodi E. *IEEE. Trans. Plasma Sci.*, 2013, vol. 41, pp. 1193-1200.
3. Jin J., Zheng L. H., Guo Y. G., Zhu J. G., Grantham C., Sorrell C. C. & Xu W. *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 2012, vol. 22, p. 5202617-5202617.
4. Zhang Y., Zhang M., Ma W., Xu J., Lu J. & Sun Z. *IEEE Trans. Energy Convers.*, 2012, vol. 27, pp. 572-579.
5. Huang X., Liu J., Zhang C. & Li L. *IEEE. Trans. Plasma Sci.*, 2013, vol. 41, pp. 1182-1187.
6. Li L., Pan D. & Huang X. *IEEE. Trans. Plasma Sci.*, 2013, vol. 41, pp. 1188-1192.
7. Gieras J. F., Mews J. & Splawski P. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 2012, vol. 48, pp. 106-116.
8. Li D., Li W., Fang J., Zhang X. & Cao J. *IEEE Transactions on*, 2014, vol. 50, pp. 1-9.
9. Park C., Lee H. & Lee J. *J. Electr. Eng. Technol.*, 2012 vol. 7, pp. 200-206.
10. Higuchi T., Nonaka S. & Ando M. *Electr. Eng. Jpn.*, 2001, vol. 137, pp. 36-43.
11. Lee H., Lee S., Park C., Lee J. & Park H. *International Journal of Railway*, 2008, vol. 1, pp. 6-11.
12. Thornton R., Thompson M. T., Perreault B. M. & Jiarong F. *Proc. IEEE*, 2009, vol. 97, pp. 1754-1757.
13. Wang J., Wang S., Zeng Y., Huang H., Luo F., Xu Z., Tang Q., Lin G., Zhang C. & Ren Z. *Physica C.*, 2002, vol. 378, pp. 809-814.
14. Yang W. J., Wen Z., Duan Y., Chen X. D., Qiu M., Liu Y. & Lin L. Z. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2006, vol. 16, pp. 1108-1111.

15. Wang S., Wang J., Wang X., Ren Z., Zeng Y., Deng C., Jiang H., Zhu M., Lin G. & Xu Z. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2003, vol. 13, pp. 2134-2137.
16. Jiasu W., Suyu W., Jun Z., Fei Y., Guangtong M., Lu L., Jing L. & Wei L. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2011, vol. 21, pp. 1551-1555.
17. Zigang D., Jiasu W., Jun Z., Hua J., Jing L., Wei L., Ya Z. & Suyu W. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2009, vol. 19, pp. 2137-2141.
18. Jiasu W., Suyu W. & Jun Z. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2009, vol. 19, pp. 2142-2147.
19. Kuwano K., Igarashi M., Kusada S., Nemoto K., Okutomi T., Hirano S., Tominaga T., Terai M., Kuriyama T., Tasaki K., Tosaka T., Marukawa K., Hanai S., Yamashita T., Yanase Y., Nakao H. & Yamaji M. *Applied Superconductivity*, 2007, *IEEE Transactions on*, vol. 17, pp. 2125-2128.
20. Yang W. J., Wen Z., Duan Y., Chen X. D., Qiu M., Liu Y. & Lin L. Z. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2006, vol. 16, pp. 1108-1111.
21. Suyu W., Jiasu W., Xingzhi W., Zhongyou R., Youwen Z., Changyan D., He J., Min Z., Guobin L., Zhipei X., Degui Z. & Honghai S. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2003, vol. 13, pp. 2134-2137.
22. Mirsalim M., Doroudi A. & Moghani J. S. *IEEE Trans. Magn.*, 2002, vol. 38, pp. 1365-1370.
23. Lee B. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 2011, vol. 6, pp. 81-85.
24. Muramatsu R., Sadakata S., Tsuda M. & Ishiyama A. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2001, vol. 11, pp. 1976-1979.
25. Sadakata S., Ueda H., Tsuda M. & Ishiyama A. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2002, vol. 12, pp. 824-827.
26. Takahashi A., Ueda H. & Ishiyama A. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2003, vol. 13, pp. 2251-2254.
27. Sato A., Ueda H. & Ishiyama A. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, 2005, vol. 15, pp. 2234-2237.
28. Yoshida K. & Matsumoto H. *Physica C.*, 2002, vol. 378, pp. 833-837.
29. Yoshida K. & Matsumoto H. *Physica C.*, 2003, vol. 392, pp. 690-695.
30. Yoshida K. & Matsumoto H. *IEEE Trans. Magn.*, 2004, vol. 40, pp. 615-618.

31. Yoshida K., Matsumoto H. & Eguchi M. *Physica C*, 2005, vol. 426, pp. 839-847.
32. Kellers J., Behrens P., Buhner C., Muller J. & Wiezorek J. *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 2007, vol. 17, pp. 2121-2124.
33. Pina J. M., Neves M. V., McCulloch M. D. & Rodrigues A. L. *Design of a linear synchronous motor with high temperature superconductor materials in the armature and in the field excitation system*. 2006, 804 p.
34. Pina J., Pereira P., Valtchev S., Gonçalves A., Neves M. V., Alvarez A. & Rodrigues L. *A test rig for thrust force measurements of an all HTS linear synchronous motor*. 2008, 12220 p.
35. Pina J. M., Neves M. V. & Rodrigues A. L. *Case Study in the Design of HTS Machines: an All Superconducting Linear Synchronous Motor*. 2007, pp. 185-190.

Information about authors:

Weili LI, Doctor in Engineering, Professor in School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, E-mail: wlli@bjtu.edu.cn

Dong LI, Doctor in Engineering, Lecturer in School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, E-mail: lidong223@bjtu.edu.cn

Xiaochen ZHANG, Doctor in Engineering, Lecturer in School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, E-mail: xchzhang@bjtu.edu.cn

Junci CAO, Doctor in Engineering, Associate professor in School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, E-mail: jccao@bjtu.edu.cn

УДК 629.423.3: 621.313.333.2

**В. А. Соломин, В. Н. Носков, А. В. Соломин, М. Ю. Пустоветов,
Н. С. Флегонтов**

Ростовский государственный университет путей сообщения

КЛАССИФИКАЦИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Дата поступления 26.03.2016

Решение о публикации 28.03.2016

Дата публикации 28.03.2016

Аннотация: В статье предлагается вариант классификации высокоскоростных систем наземного транспорта с учетом наличия таковых существующих и перспективных с колесным приводом и с магнитным подвесом. Рассматриваются, в том числе, предложения авторов в области перспективных конструкций электропривода транспортных средств с линейными асинхронными двигателями. Уделено внимание разнообразию конструкций индукторов и вторичных элементов линейных асинхронных двигателей транспортного назначения.

Ключевые слова: высокоскоростной наземный транспорт, линейный электродвигатель, система поперечной стабилизации экипажа, магнитный подвес, классификация.

**Vladimir A. Solomin, Vladimir N. Noskov, Andrey V. Solomin,
Mikhail Yu. Pustovetov, Nikolay S. Flegontov**

Rostov State Transport University

CLASSIFICATION OF HIGH-SPEED TRANSPORT SYSTEMS

Abstract: This article proposes the variant of classification of high-speed ground transport systems, taking into account the availability of such existing and future with wheel drive and a magnetic levitation. Authors offer promising designs in electric vehicles with linear induction motors are considered. Paying attention to a variety of inductors structures and secondary elements of linear induction motors for transport purposes. Secondary element of traction linear induction motor is mounted on a carriage and can be in the form of conductive bus-section and a resistance, which is equally across its length and width. The secondary element may be made of an electrically conductive bus-section and a resistance which uneven across its width. In this case, at the edges of the tire has a smaller cross section or edge portions may be made of a material with lower electric conductivity and provide increased transverse self-stabilization efforts suspended in a magnetic field vehicle and safety of its movement. In the case of a short-circuited secondary winding element with adjustable resistance can be increased efforts at the start of the vehicle and reduce speed when

approaching the next station. The principle of transverse stabilization of the vehicle may be based on the use of a pair of oppositely traveling magnetic fields.

Keywords: high-speed ground transportation, a linear motor, transverse stabilization system of the vehicle, magnetic levitation, classification.

Введение

Увеличение скоростей движения поездов традиционного типа с колесным приводом еще не исчерпало своих возможностей. Об этом свидетельствует опыт эксплуатации высокоскоростных поездов на железных дорогах Франции, ФРГ, Испании, Японии и Китая. В России также ведутся работы по созданию высокоскоростных поездов для пассажирских перевозок на наиболее напряженных направлениях (Москва – Санкт-Петербург, Москва – Юг, Москва – Нижний Новгород и др.) [1].

Цель

Авторами настоящей работы ставится цель установления удобной для дальнейшего практического использования классификации высокоскоростных транспортных систем. Конечно, ранее уже предлагались варианты классификации, например в [2, 3]. **Методологией** предлагаемой классификации служит сопоставление общих черт и различий разнообразных существующих или предложенных систем высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ), их группировка по характерным признакам. **Практическую значимость** работе придает открывающаяся на основании предложенной классификации возможность прогнозирования перспективных направлений исследований, в том числе, основываясь на разработках авторов. Классификация может быть полезна также для не столь высокоскоростных перспективных разработок в области городского электрифицированного транспорта [4].

Результаты

Предполагается, что новые пассажирские поезда будут курсировать со скоростями 150–250 км/ч. Электровозы для высокоскоростного движения оборудуются тяговым электроприводом переменного тока. Для повышения безопасности движения высокоскоростных поездов их локомотивы и вагоны оборудуются вихретоковыми тормозами, позволяющими сократить длину тормозного пути и сделать процесс торможения более плавным. В ряде случаев предлагается оборудовать локомотивы и вагоны индукторами линейных асинхронных двигателей

(ЛАД), способными выполнять несколько функций: выступать в качестве дополнительных тяговых двигателей, взаимодействующих непосредственно с рельсами, работать в качестве вихретоковых или электромагнитных рельсовых тормозов; использоваться в качестве догрузателей. Применение индукторов линейных асинхронных двигателей позволит сделать работу высокоскоростных поездов еще более безопасной и эффективной. Предлагается следующая классификация колесных высокоскоростных транспортных систем (рис.1).

Локомотивы колесных высокоскоростных транспортных систем оборудуются тяговым электроприводом переменного тока с асинхронными, синхронными или индукторными электродвигателями. В настоящее время наиболее перспективным для высокоскоростных поездов считается асинхронный тяговый частотно-регулируемый электропривод, который сравнительно долгое время используется на железных дорогах ФРГ, Франции, Испании и Японии. Предлагается снабжать локомотивы и вагоны высокоскоростных поездов дополнительными тяговыми и тормозными устройствами, способными повысить эффективность и безопасность их работы. Дополнительные устройства – это вихретоковые рельсовые тормоза, ЭМРТ и индукторы ЛАД (рис.1). При определенных условиях ЭМРТ способен выполнять функции вихретокового тормоза. Индуктор линейного асинхронного двигателя среди всех дополнительных тяговых и тормозных устройств является наиболее многофункциональным. Индуктор ЛАД способен работать как дополнительный тяговый электродвигатель, как вихретоковый и электромагнитный рельсовый тормоз и как догрузатель. При необходимости индуктор ЛАД можно использовать и в качестве стояночного тормоза.

Классификация систем ВСНТ с магнитным подвесом и тяговым индуктором ЛАД, используемым в качестве путевой структуры, представлена на рис.2.

Система ВСНТ (рис.2) содержит путевую структуру, состоящую из индукторов ЛАД, а вторичный элемент ЛАД располагается на транспортных экипажах.

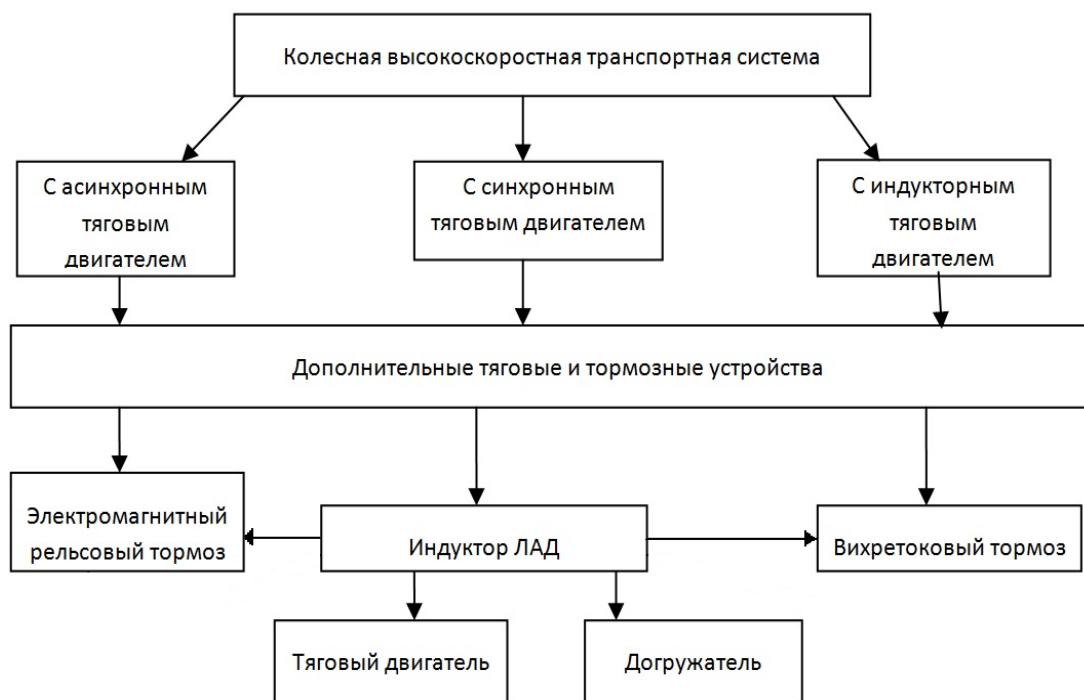


Рис. 1. Классификация высокоскоростных поездов с колесным приводом

Индукторы ЛАД могут иметь различную конструкцию и выполняются с продольным, поперечным или продольно-поперечным магнитным потоком. Участки путевой структуры системы ВСНТ могут формироваться из одинаковых или различных по конструкции модулей индукторов ЛАД (рис. 2). Различаться отдельные модули ЛАД могут величиной полюсного деления, числом полюсов, типом обмотки, конструкцией магнитной системы. На ряде участков перегона между станциями могут устанавливаться индукторы ЛАД, обеспечивающие автоматическую поперечную самостабилизацию экипажа на магнитной подвеске относительно путевой структуры (рис. 2) [5]. Вторичный элемент (ВЭ) тягового ЛАД устанавливается на экипаже ВСНТ и может быть выполнен в виде электропроводящей шины, сечение и активное сопротивление которой одинаково по всей ее длине и ширине. Как вариант ВЭ может изготавливаться из электропроводящей шины, сечение и активное сопротивление которой неодинаково по ее ширине. В этом случае по краям шина имеет меньшее сечение или ее крайние участки могут быть изготовлены из материала с меньшей электрической проводимостью и обеспечивают увеличение усилий поперечной самостабилизации подвешенного в магнитном поле экипажа ВСНТ и безопасность его движения. Значительного увеличения тяговых усилий ЛАД можно добиться при использовании короткозамкнутой обмотки на вторичном

элементе (рис. 2). В случае выполнения короткозамкнутой обмотки вторичного элемента с регулируемым сопротивлением можно увеличить усилия при трогании экипажа ВСНТ с места, повышать скорость экипажа при его разгоне и снижать ее при приближении к следующей станции. Такая конструкция короткозамкнутой обмотки позволяет регулировать скорость движения экипажа ВСНТ с магнитным подвешиванием экипажа просто и в широких пределах.

Классификация высокоскоростных наземных транспортных систем с магнитным подвесом с индукторами ЛАД, установленными на экипаже, и вторичными элементами, уложенными в путевую структуру, изображена на рис. 3. Вопросам магнитного подвеса посвящены, например, работы [6, 7]. Как и в предыдущей классификации, в системе ВСНТ могут использоваться индукторы ЛАД с продольным, поперечным и продольно-поперечным замыканием магнитного потока, причем последние предназначены преимущественно для создания поперечной автоматической самостабилизации высокоскоростных экипажей с магнитной подвеской относительно путевой структуры.

В случае установки на высокоскоростном экипаже с магнитным подвесом индукторов линейных асинхронных двигателей с продольным или поперечным магнитным потоком в качестве обмоток вторичных элементов могут служить электропроводящие шины, короткозамкнутые обмотки, короткозамкнутые обмотки с регулируемыми сопротивлениями в сочетании с электропроводящими шинами (рис. 3). Если в качестве индукторов ЛАД применяются машины с продольно-поперечным магнитным потоком [2] и с поперечной самостабилизацией, то ВЭ может служить электропроводящие шины или же короткозамкнутые обмотки с регулируемыми сопротивлениями, установленные в приподстанционных зонах и на самой станции, в сочетании с электропроводящими шинами, занимающими основные части перегонов между станциями.

Электропроводящие шины могут выполняться с одинаковыми сечениями и, соответственно, одинаковыми сопротивлениями по длине и ширине ВЭ.

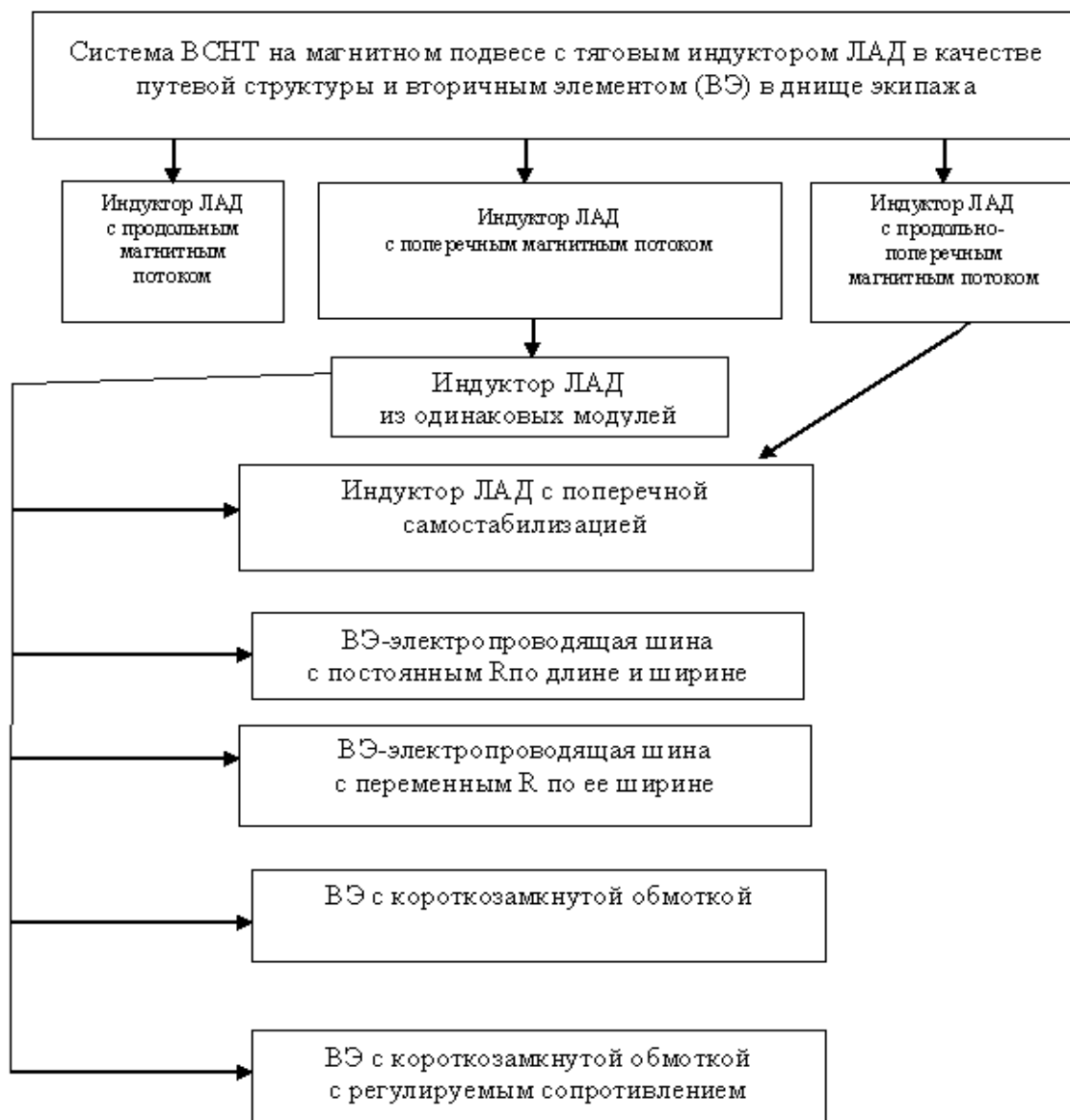


Рис. 2. Классификация систем ВСНТ с магнитным подвесом и индукторами ЛАД в путевой структуре

В случае установки на высокоскоростном экипаже с магнитным подвесом индукторов линейных асинхронных двигателей с продольным или поперечным магнитным потоком в качестве обмоток вторичных элементов могут служить электропроводящие шины, короткозамкнутые обмотки, короткозамкнутые обмотки с регулируемыми сопротивлениями в сочетании с электропроводящими шинами (рис. 3). Если в качестве индукторов ЛАД применяются машины с продольно-поперечным магнитным потоком [8] и с поперечной самостабилизацией, то ВЭ может служить электропроводящие шины или же короткозамкнутые обмотки с регулируемыми сопротивлениями, установленные в приподстанционных

зонах и на самой станции, в сочетании с электропроводящими шинами, занимающими основные части перегонов между станциями.

Электропроводящие шины могут выполняться с одинаковыми сечениями и, соответственно, одинаковыми сопротивлениями по длине и ширине ВЭ.

Как вариант, электропроводящие шины могут иметь различные сопротивления по длине и ширине: так, на участках путевой структуры, примыкающей к станции, сечение шины уменьшается, а сопротивление ее увеличивается, причем длина пристанционный участка путевой структуры (шины) зависит от пути разгона (или торможения) экипажа ВСНТ.

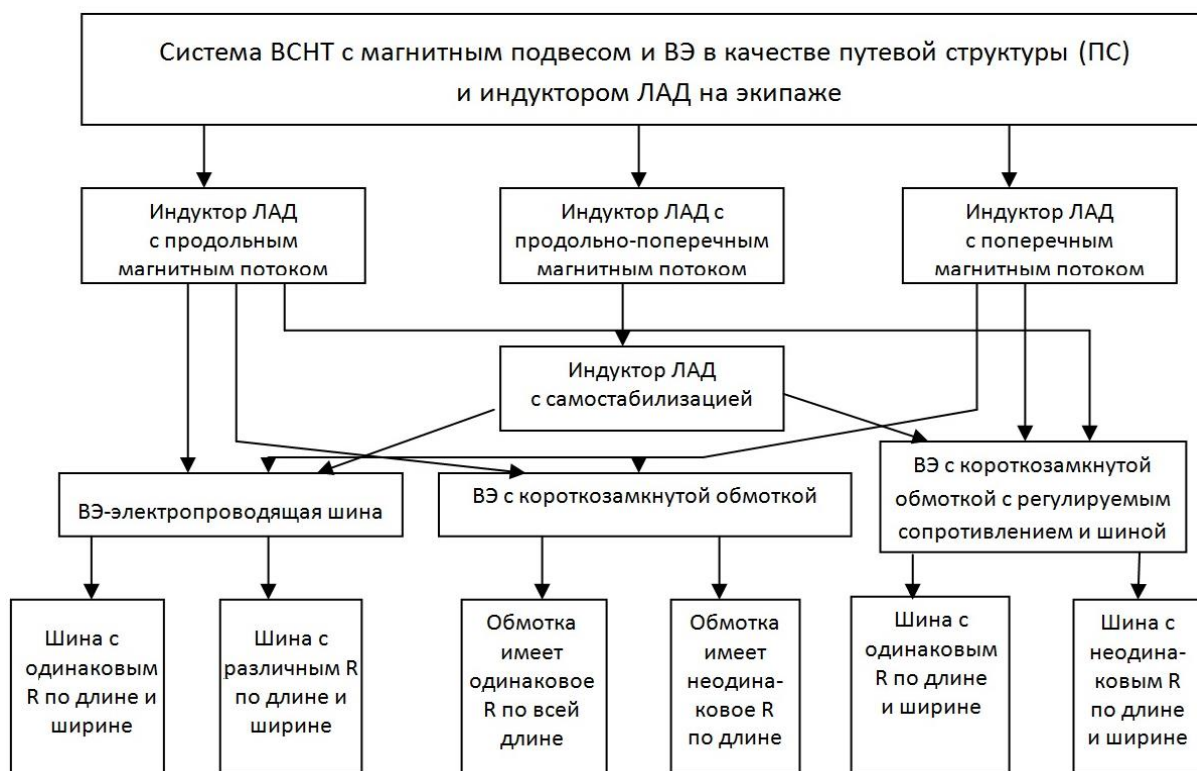


Рис. 3. Классификация систем ВСНТ с магнитным подвесом и индукторами ЛАД на экипаже

На основном перегоне при использовании индукторов ЛАД, обеспечивающих поперечную самостабилизацию экипажа относительно путевой структуры, предпочтительно по краям по ширине электропроводящей шины выполнять участки с меньшими сечениями, т.е. с большими сопротивлениями, что обеспечивает увеличение усилий поперечной самостабилизации при боковом, поперечном смещении экипажа ВСНТ относительно путевой структуры. Если вторичный элемент содержит короткозамкнутую обмотку, то она может быть выполнена как с одинаковым сопротивлением по всей длине, так и с различным

сопротивлением: на участках, прилегающих к станциям, сопротивление обмотки увеличено, а на основной части перегона – уменьшено. Вторичный элемент может быть комбинированным: на пристанционных участках его обмотка выполняется короткозамкнутой с регулируемым сопротивлением, а на основной части перегона в путевую структуру уложена электропроводящая шина (рис. 3). В ряде случаев для плавного пуска экипажей ВСНТ или для точной их электромагнитной фиксации при остановке могут быть использованы линейные асинхронные электроприводы, разработанные в РГУПС. Их принцип действия основан на использовании встречно бегущих магнитных полей [8, 9].

Заключение

Предложенные классификации не являются исчерпывающими. Они включают в себя разработки авторов, направленные на повышение эффективности и безопасности движения высокоскоростных экипажей как содержащих колесный привод поезда, так и подвешенных в магнитном поле.

Библиографический список

1. Зайцев А. А. История развития высокоскоростного движения // Саморегулирование & бизнес. – 2011. – № 7 (15). – С. 14 – 16.
2. Бочаров В. И., Бахвалов Ю. А., Талья И. И. Основы проектирования электроподвижного состава с магнитным подвесом и линейным тяговым электроприводом. Ч. 1. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1992. – 432 с.
3. Hellinger R., Mnich P. Linear Motor-Powered Transportation: History, Present Status, and Future Outlook // Proceedings of the IEEE. – 2009. – Vol. 97. – No. 11. – pp. 1892 – 1900.
4. Дьячкова О. М., Володькин П. П. Сферы применения городского пассажирского транспорта // Ученые заметки ТОГУ. – 2013. – Том 4. – № 4. – С. 1492 – 1501.
5. Соломин В. А. Система тяги, левитации и самостабилизации экипажа ВСНТ / В. А. Соломин, В. Н. Носков, М. Ю. Пустоветов, Н. С. Флегонтов // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: труды 2-й Междунар. научн. конф., Санкт-Петербург, 17–20 июня 2014. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 180 – 185.
6. Флора В. Д. Электрические машины специальных конструкций и принципов действия. – Запорожье: Информационная система iElectro, 2011. – 254 с.

7. Cabral T., Chavarette F. Dynamics and control design via LQR and SDRE methods for a maglev system // *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. – 2015. – Vol. 101. – No. 2. – pp. 289 – 300.

8. Линейный асинхронный электропривод. Патент на изобретение RUS 2070764, 1996.

9. Соломин В. А. Система боковой самостабилизации высокоскоростного экипажа с магнитной левитацией / В. А. Соломин, В. Н. Носков, М. Ю. Пустоветов, Н.С. Флегонтов // *Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: труды 1-й Междунар. научн. конф., Санкт-Петербург, 2014.* – СПб.: ООО PUDRA, 2013. – С. 66 – 67.

References

1. Zaytcev A. A. *Samoregulirovanie & biznes – Self-regulation & Business*, 2011, то 7 (15), pp. 14 – 16.

2. Bocharov V. I., Bahvalov Yu. A. & Talya I. I. *Osnovi proektirovania elektropodvizhnogo sostava s magnitnim podvesom I lineynim tiagovim elektroprivodom. Chast 1.* [Fundamentals of electric rolling stock with magnetic suspension and linear traction motor design. Part 1.]. Rostov-on-Don, 1992. 432 p.

3. Hellinger R. & Mnich P. *Proceedings of the IEEE*, 2009, vol. 97, no. 11, pp. 1892-1900.

4. Dyachkova O. M. & Volodkin P.P. *Uchenye zametki Tihookeanskogo nacional'nogo universiteta – Scientists Notes of Pacific National University*, 2013, vol. 4, no 4, pp. 1492-1501.

5. Solomin V. A. Sistema tiagi, levitacii I samostabilizatsii ekipazha VSNT [The system of traction, levitation and self-stabilization of vehicle for high-speed ground transportation system]. Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii” (Works 2nd Int. Sc. Conf. “Magnetic and levitation transport systems and technologies”). St. Petersburg, 2014, pp. 180-185.

6. Flora V. D. *Elektricheskie mashiny specialnih konstrukcij I principov deystvija* [Electrical machines of special designs and operating principles]. Zaporozhye, 2011. 254 p.

7. Cabral T. & Chavarette F. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2015, vol. 101, no. 2, pp. 289-300.

8. Linear electric drive with the induction motor. Patent RUS 2070764, 1996.

9. Solomin V. A. Sistema bokovoj samostabilizatsii vysokoskorostnogo ekipazha s magnitnoj levitaciej [The system of transverse

self-stabilization of high-speed magnetic levitation crew vehicle]. Trudy 1-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii” (Works 1st Int. Sc. Conf. “Magnetic and levitation transport systems and technologies”), St. Petersburg, 2013, pp. 66-67.

Сведения об авторах:

СОЛОМИН Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические машины и аппараты», E-mail: ema.@kaf.rgups.ru

НОСКОВ Владимир Николаевич, кандидат технических наук, директор научно-исследовательской части, E-mail: nvn_nis@sci.rgups.ru

СОЛОМИН Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», E-mail: vag.@kaf.rgups.ru

ПУСТОВЕТОВ Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, директор НИИЦ «Криотрансэнерго», E-mail: mgsn2006@rambler.ru

ФЛЕГОНТОВ Николай Степанович, заместитель директора НИИЦ «Криотрансэнерго», E-mail: centrkte@rgups.ru

Information about authors:

Vladimir A. SOLOMIN, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Chair «Electrical Machines and Apparatus», E-mail: ema.@kaf.rgups.ru

Vladimir N. NOSKOV, Candidate of Engineering Sciences, Director of Science-Investigating Department, E-mail: nvn_nis@sci.rgups.ru

Andrey Vю SOLOMIN, Candidate of Engineering Sciences, Associated Professor of Chair «Carriages and carriage economy», E-mail: vag.@kaf.rgups.ru

Mikhail Yu. PUSTOVETOV, Candidate of Engineering Sciences, Associated Professor, Director of Science-Investigating and Testing Center «Cryotransenergo», E-mail: mgsn2006@rambler.ru

Nikolay S. FLEGONTOV, Deputy Director of Science-Investigating and Testing Center «Cryotransenergo», E-mail: centrkte@rgups.ru

Раздел 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 538.31.001.2

К. Е. Воеводский, В. М. Стрепетов

Санкт-Петербургский государственный университет
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДВЕСА

Дата поступления 19.06.2015

Решение о публикации 03.07.2015

Дата публикации 28.03.2016

Аннотация: Рассматривается система ЭДП, в которой первичный источник поля (электромагнит) движется по прямой, параллельной поверхности путевого полотна, а его скорость совершает малые колебания около некоторого среднего значения. Принято приближение бесконечно широкого путевого полотна, в качестве первичного источника электромагнитного поля выступает так называемый периодический источник. Рассматриваемая задача представляет собой частный случай общей проблемы о скорости протекания переходных процессов в системе ЭДП, вызванных неравномерностью движения. Названную скорость определяют величины имеющие смысл постоянных времени, причем, в отличие от простейшего случая одномерного линейного осциллятора, систему электродинамического подвешивания характеризует не одна постоянная времени, а бесконечный набор таких величин.

Разработан метод расчета сил подъема и торможения, действующих при таком колебательном движении на экипажный электромагнит, причем для расчета названных сил получены простые явные формулы.

На основе расчета постоянных времени проведена оценка скорости протекания переходных процессов в системе электродинамического подвешивания, вызванных неравномерностью движения. По разработанной методике выполнены расчеты сил подъема и торможения. Полученные результаты позволяют очертить границы применимости так называемого квазистатического приближения, которое заключается в том, что неравномерно движущийся электромагнит, заменяется сопутствующим, то есть, таким же электромагнитом, так же расположенным и движущимся равномерно со скоростью, совпадающей с мгновенным значением продольной скорости реального электромагнита. В квазистатическом приближении колебания сил подъема и

торможения синфазны колебаниям и скорости, а амплитуды колебаний сил не зависят от частоты колебаний скорости. Как показали расчеты, в действительности между колебаниями сил и колебаниями скорости имеется фазовый сдвиг, зависящий от частоты колебаний. Амплитуды колебаний сил подъема и торможения также зависят от частоты колебаний, причем для каждого значения скорости существует резонансная частота, при которой они достигают наибольшего значения.

Ключевые слова: электродинамический подвес, продольные колебания, переходные процессы, амплитудно-частотные характеристики, резонансная частота, квазистатическое приближение.

Constantine E. Voevodskii, Vladimir M. Strepetov

St. Petersburg State University

Petersburg State Transport University

LONGITUDINAL VIBRATIONS IN ELECTRODYNAMICS SUSPENSION SYSTEM

Abstract: A system of electrodynamic suspension (EDS) in which the primary source of the field (electromagnet) is moving in a straight line parallel to the surface of the track and his speed makes small oscillations around a mean value is considered. The approximation of an infinitely wide track is allowed, the primary source of the electromagnetic field acts as a so-called periodic source. This problem is a special case of the general problem of the rate of the transients in the EDS, caused by uneven movement. Named speed determines the amount of time constants that make sense, and in contrast to the simplest case of a one-dimensional linear oscillator system EDS characterizes not by a single time constant, but by infinite set of values.

The method of calculation of levitation and braking forces acting in this oscillatory motion on carriage electromagnet is worked out and simple explicit formulas to calculate these forces are got.

On the basis of the calculation of time constants the rate of the transients in the EDS, caused by uneven movement is assessed. The calculations of levitation and braking forces according to the developed technique are made. The results obtained allow to delimit the applicability of the so-called quasi-static approach which consists in that the irregularly moving of electromagnet replaced by concurrent, i.e., the same electromagnet, similarly disposed and uniformly moving with a speed coinciding with the instantaneous value of the actual longitudinal speed of the electromagnet. In the quasi-static approximation, fluctuations of levitation and braking forces are in phase with oscillations of speed and amplitude of the forces oscillations do not depends on the frequency of the speed oscillation. The calculations show that in reality there is phase shift between the forces oscillations and speed oscillations depending on the frequency. Amplitudes of levitation and braking forces oscillations also depend on the oscillation frequency, and for each speed value a resonance frequency exists at which they reach the maximum value.

Keywords: electrodynamic suspension, longitudinal oscillations, transients, frequency response, resonant frequency, quasi-static approximation.

1. НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.

Пусть плоский слой $-T < z < 0$ (путевое полотно) заполнен однородной проводящей средой с удельной проводимостью σ , и в полупространстве $z > 0$ в направлении оси x на расстоянии h от поверхности полотна поступательно движется первичный источник поля (электромагнит). Это движение происходит по закону $x = X(t)$, где x – координата электромагнита (точнее, некоторой выделенной его точки), $x = X(t)$ – заданная функция времени.

Нужно найти силу взаимодействия электромагнита с вихревыми токами, наведенными в путевом полотне.

В качестве первичного источника в настоящей работе рассматривается так называемый периодический источник [9], весьма удобный для исследования. Это система токов, распределенных в плоскости $z = h$ с поверхностной плотностью $\mathbf{J} = \frac{\partial V}{\partial y} \mathbf{e}_x - \frac{\partial V}{\partial x} \mathbf{e}_y$, где $V(x, y) = I \cos px \cos qy$. В этой системе линии тока замыкаются вокруг точек с координатами $(n\pi/p; n\pi/q)$, а полярности чередуются в шахматном порядке. Согласно [10], такая система может служить моделью электромагнита, с намагничивающей силой I и размерами $n\pi/p \times n\pi/q$.

Как установлено авторами, силы, действующие на такую систему токов при описанном выше движении, определяются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} F_z(t) &= -\frac{I^2 \pi^2 \mu_0 k^2}{2pq} e^{-2kh} \operatorname{Re} \gamma, \\ F_x(t) &= -\frac{I^2 \pi^2 \mu_0 k}{2q} e^{-2kh} \operatorname{Im} \gamma, \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь F_z , F_x , – вертикальная и продольная составляющие силы в расчете на один пространственный период источника,

$$\begin{aligned} \gamma(t) &= -1 + \frac{4k}{\mu_0 \sigma T} e^{ipX(t)} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y_n^2 e^{-t/\tau_n}}{2a + a^2 + y_n^2} \int_{-\infty}^t e^{-ipX(s)} e^{s/\tau_n} ds, \\ \text{где } a &= kT, \quad k = \sqrt{p^2 + q^2}, \quad \tau_n = \frac{\mu_0 \sigma T^2}{a^2 + y_n^2}, \quad y_n \text{ – корень уравнения} \\ 2 \operatorname{ctg} y &= y/a - a/y \end{aligned} \tag{2}$$

из промежутка $n\pi < y_n < (n+1)\pi$.

Отметим физический смысл величин τ_n . Он вытекает из структуры выражения (2), имеющего вид бесконечного ряда, n -й член которого содержит множитель e^{-t/τ_n} . Отсюда ясно, что величины τ_n играют роль постоянных времени, и их бесконечный набор характеризует продолжительность переходных процессов, вызванных неравномерностью движения. Постоянные времени убывают обратно пропорционально квадрату номера, так что дальние члены ряда быстро затухают со временем, и определяющую роль играют несколько первых τ_n .

Ценность величин $\{\tau_n\}$ для исследования определяется, с одной стороны, их физическим смыслом, с другой стороны, простотой их вычисления. Знание $\{\tau_n\}$ позволяет, даже не вдаваясь в расчет полей и сил для конкретного закона движения, оценить скорость затухания переходных процессов, а значит, пределы применимости квазистатического приближения. Так, для продольных колебаний его применимость требует, чтобы за время τ_0 (это наибольшее из τ_n) скорость движения существенно не изменялась. Или, что то же самое, должно выполняться неравенство $\tau \gg \tau_0$, где τ – характерное время заметного изменения скорости движения электромагнита. Конкретное значение τ зависит от требований к точности. Для колебательного движения τ естественно задавать как некоторую долю периода. При самом грубом подходе в качестве τ можно взять четверть периода (за это время скорость испытывает максимальное отклонение от стационарного значения), более высокие требования к точности можно учесть, взяв вместо четверти периода, ее m -ю часть. Итак, если частота колебаний скорости равна f , то четверть периода это $1/4f$, и условие применимости квазистатического приближения можно записать так: $1/4mf \gg \tau_0$, при этом параметр m задает требование к точности (бóльшие m означают более высокие требования). Если же это условие не выполняется для $m=1$, то квазистатическое приближение заведомо неприменимо к изучению колебаний в системе ЭДП.

2. МАЛЫЕ ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Предположим, что на равномерное движение электромагнита с постоянной скоростью v наложены продольные колебания малой амплитуды A . Такому движению отвечает зависимость $X(t)$ следующего вида:

$$X(t) = vt - A \cos \omega t \quad (3)$$

при этом колебания скорость задаются зависимостью

$$dX(t)/dt = v + A \sin \omega t, \quad (4)$$

а условие малости колебаний выражается неравенством

$$pA \gg 1, \quad (5)$$

смысл которого в том, что амплитуда много меньше характерного продольного размера первичного токового источника π/p .

Зависимость (3) нужно подставить в (2). Экспонента $e^{ipX(t)}$ примет при этом вид $\exp(ip(vt - A\cos\omega t)) = e^{ipvt} \exp(-ipA\cos\omega t)$. Условие малости колебаний (5) позволяет заменить второй сомножитель двумя первыми членами разложения экспоненты в ряд Тейлора: $\exp(-ipA\cos\omega t) \approx 1 - ipA\cos\omega t$. Аналогично, можно преобразовать экспоненту под знаком интеграла:

$$e^{-ipX(s)} = \exp(-ip(vs - A\cos\omega s)) = e^{-ipvs} \exp(ipA\cos\omega s) \approx e^{-ipvs} (1 + ipA\cos\omega s).$$

Выполняя описанные подстановки, вычисляя интегралы, отбрасывая члены, пропорциональные $(pA)^2$, можно получить из (2) ряд, который удастся просуммировать. В результате для величины $\gamma(t)$ получается следующее представление.

$$\gamma(t) = \gamma_0 + \gamma_1(t) \quad (6)$$

$$\gamma_0 = i\mu_0 \sigma D(0) \quad (7)$$

$$\gamma_1 = \mu_0 \sigma \frac{pA}{2} \{ \cos\omega t [2D(0) - D(\omega) - D(-\omega)] + i \sin\omega t [D(\omega) - D(-\omega)] \}, \quad (8)$$

где $D(\omega) = (pv + \omega) / (\alpha^2 + k^2 + 2\alpha k \operatorname{cth}\alpha T)$, $\alpha^2 = k^2 - i\mu_0 \sigma (pv + \omega)$, причем, $\operatorname{Re}\alpha \geq 0$.

В сумме (6) слагаемое γ_0 отвечает невозмущенному равномерному движению со скоростью v , слагаемое $\gamma_1(t)$ описывает колебания с частотой ω . Следует заметить, что если при подстановке закона движения (3) в формулу (2) не ограничиться в разложении экспоненты двумя членами, а выписать полный ряд, вместо (6) мы получим бесконечную сумму, в которой n -е слагаемое описывает колебания с частотой $n\omega$. Таким образом, используемое здесь приближение малых колебаний равносильно учету лишь одной – главной – гармоники колебаний.

Соотношения (6)-(8) и формулы (1), выражающие искомые силы через величину $\gamma(t)$, позволяют найти амплитуды главных гармоник F_x и F_z и их фазовый сдвиг относительно колебаний скорости, описываемых уравнением (4).

Приведем итоговые формулы для названных величин:

$$a_x = \frac{pA}{2} \cdot \frac{\sqrt{M_x^2 + N_x^2}}{\operatorname{Re}D(0)}, \quad a_z = \frac{pA}{2} \cdot \frac{\sqrt{M_z^2 + N_z^2}}{\operatorname{Im}D(0)}, \quad \operatorname{tg}\varphi_x = \frac{M_x}{N_x}, \quad \operatorname{tg}\varphi_z = \frac{M_z}{N_z} \quad (9)$$

Здесь a_x , a_z , – амплитуды колебаний F_x , F_z отнесенные к стационарным значениям соответствующих компонент, φ_x , φ_z – фазовые сдвиги соответствующих компонент относительно колебаний скорости, то есть, относительно $\sin\omega t$. Таким образом,

$$\frac{F_{x,z} - F_{x,z}^0}{F_{x,z}^0} = a_{x,z} \sin(\omega t + \varphi_{x,z}), \quad (10)$$

где $F_{x,z}^0$ – невозмущенные значения сил (отвечающие движению с постоянной скоростью v). Величины $M_{x,z}$ и $N_{x,z}$ определяются равенствами:

$$M_x = \text{Im } M; \quad M_z = \text{Re } M; \quad N_x = \text{Re } N; \quad N_z = -\text{Im } N;$$

$$M = 2D(0) - D(\omega) - D(-\omega), \quad N = -D(\omega) - D(-\omega).$$

Полученные результаты поучительно сравнить с теми, которые основаны на квазистатическом приближении. В этом приближении зависимость величины γ от скорости дается первым слагаемым в (6), и при малых колебаниях скорости, описываемых формулой (4), можно написать:

$$\gamma(t) = \gamma_0 + d\gamma_0/dv A \sin \omega t \quad (11)$$

Вычисляя γ согласно (11) и подставляя в (1), можно получить следующие выражения для колебаний сил в квазистатическом приближении:

$$\frac{F_x - F_x^0}{F_x^0} = \frac{\text{Re} \left(\frac{d}{ds} \left(\frac{s}{m(s)} \right) \right)}{v \cdot \text{Re} (1/m(s))} \cdot A \omega \sin \omega t, \quad \frac{F_z - F_z^0}{F_z^0} = \frac{\text{Im} \left(\frac{d}{ds} \left(\frac{s}{m(s)} \right) \right)}{v \cdot \text{Im} (1/m(s))} \cdot A \omega \sin \omega t. \quad (12)$$

Здесь величины $m(s)$ и s определяются равенствами:

$$m(s) = 2 + is + 2\sqrt{1 + is} \text{cth}(kT\sqrt{1 + is}), \quad s = -\mu_0 \sigma v p / k^2.$$

Сравнение формул (12), отвечающих квазистатическому приближению, с формулами (9), (10), основанными на нестационарном подходе, указывает на следующие качественные различия.

1. В квазистатической теории колебания сил и вызывающие их колебания скорости строго *синфазны*. Нестационарная теория показывает, что между этими колебаниями есть *фазовый сдвиг*.

2. В формулах (12) множители перед $A \omega \sin \omega t$ не зависят от ω . Учитывая, что $A \omega$ это амплитуда колебаний скорости, отсюда можно сделать вывод, что при заданной амплитуде колебаний скорости амплитуды колебаний сил не зависят от частоты колебаний. В действительности, как это видно из (9), (10), имеет место дисперсия: амплитуды колебаний сил зависят и от амплитуды и от частоты колебаний скорости.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Во всех представленных ниже расчетных зависимостях в качестве неизменных приняты следующие параметры системы: толщина путевого полотна $T = 0,01\text{ м}$, его относительная магнитная проницаемость $\mu = 1$, удельное сопротивление $\rho = 3,2 \cdot 10^{-8}\text{ Ом}\cdot\text{м}$ (это соответствует алюминию).

В расчетах сил размеры экипажного электромагнита принимались равными $0,79 \times 0,79\text{ м}$. Это соответствует пространственным частотам модельного периодического источника: $p = q = \pi/0,79 = 3,98\text{ м}^{-1}$, и $k = \sqrt{p^2 + q^2} = \pi\sqrt{2}/0,79 = 5,62\text{ м}^{-1}$.

3.1 Постоянные времени

На рис.1 даны расчетные зависимости первых четырех постоянных времени τ_0, \dots, τ_3 от параметра $a = kT$ в диапазоне $0,001 < a < 0,1$. Эти графики подтверждают качественные закономерности, которые можно получить на основе (2), здесь мы обратим внимание на главную постоянную времени τ_0 .

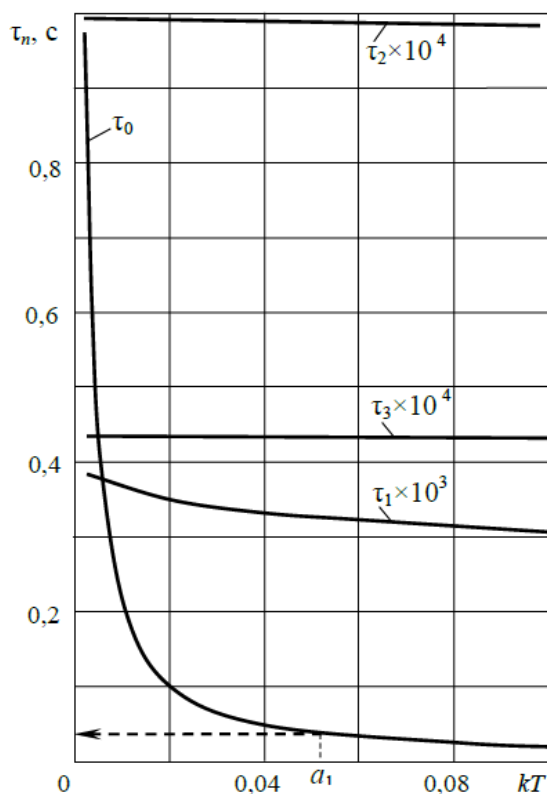


Рис. 1. Зависимость постоянных времени от параметра kT

Заметим, прежде всего, что во всем рассмотренном диапазоне изменения параметра kT величина τ_0 не менее чем на три порядка превосходит все последующие постоянные времени τ_n . Поэтому именно ею

определяется порог применимости квазистатического приближения. Оценим этот порог для параметра $kT = 5,62 \cdot 10^{-2}$, что отвечает указанным выше размерам электромагнита (на рисунке это значение переменной kT обозначено как a_1). Этому значению соответствует $\tau_0 = 3,5 \cdot 10^{-2}$ с. Подставив это значение в полученное выше условие применимости $1/4mf \gg \tau_0$, получим следующее ограничение для частоты колебаний: $f \ll 7,14/m$ Гц, где параметр точности m тем больше, чем большая требуется точность, и во всяком случае $m \geq 1$.

3.2 Амплитудно-частотные характеристики сил.

Амплитудно-частотные характеристики силы подъема представлены на рис.2, 3.

По оси абсцисс отложена частота колебаний в Гц, по оси ординат a_z – относительное значение амплитуды колебаний силы подъема при единичной (1м/с) амплитуде колебаний скорости. За единицу силы принято стационарное значение силы, отвечающее данной скорости (имеется в виду невозмущенное значение скорости, то есть, то значение, вокруг которого происходят колебания скорости). Разные кривые отвечают разным значениям скорости.

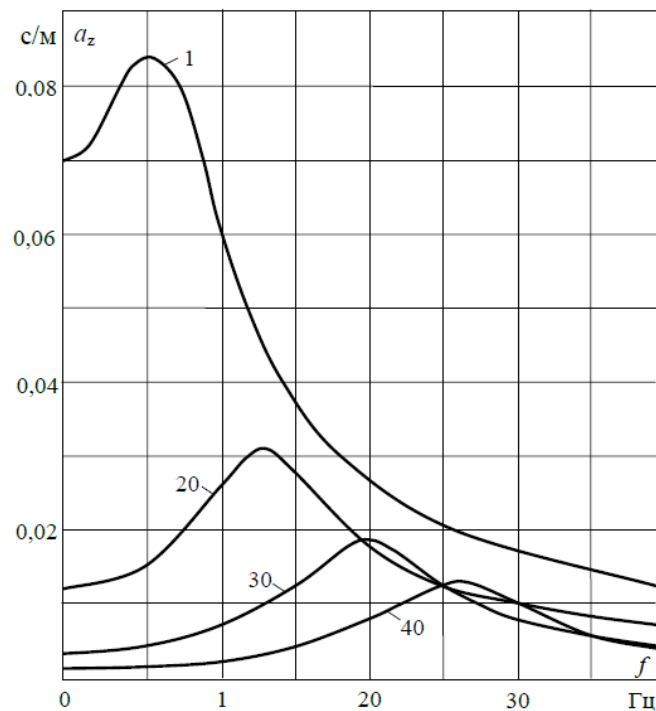


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики силы левитации

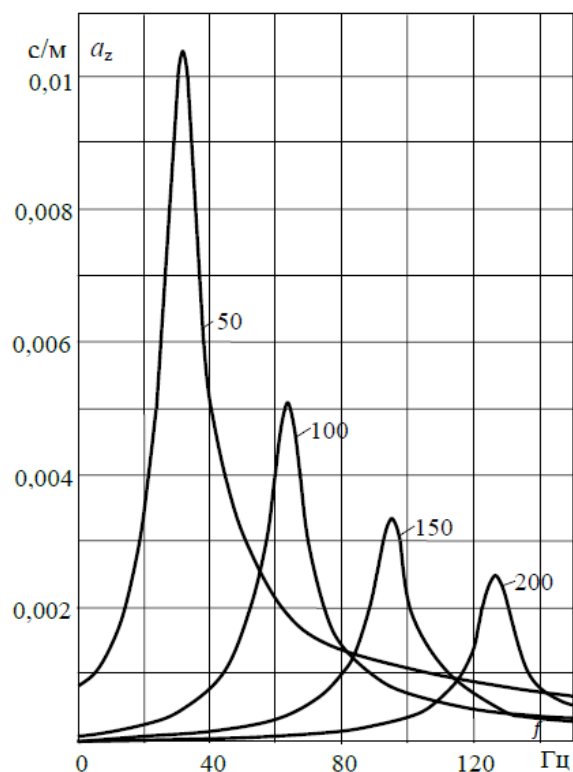


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики силы левитации

Как видно из графиков, для каждого значения скорости существует определенная резонансная частота, при которой амплитуда колебаний силы достигает наибольшего значения. При совсем низких скоростях (для рассмотренных входных данных это скорости ниже 5 м/с) амплитуда убывает с ростом частоты во всем диапазоне. На рисунках соответствующие кривые не представлены.

Как показали расчеты, квазистатическое приближение дает значения, которые на представленных выше кривых отвечают нулевой частоте.

Диапазон низких частот, в котором оно применимо, можно приближенно оценить с помощью представленного выше условия $f \ll 7,14/m$ Гц.

Сравнивая эту оценку с представленными графиками, можно заметить, что упомянутое условие работает с тем большей надежностью, чем больше скорость.

Аналогичные зависимости для тормозной силы имеют такой же качественный вид.

3.3 Зависимость резонансной частоты от скорости.

Для обеих составляющих силы эти зависимости оказались весьма близкими к линейным, начиная со скорости около 15 м/с, причем с одинаковым угловым коэффициентом, равным 0,634 Гц/(м/с). Если перейти от частоты f к циклической частоте ω , то этот коэффициент станет равным $2\pi \cdot 0,634 \text{ м}^{-1}$, что с точностью до погрешности вычислений совпадает с пространственной частотой p , отвечающей источнику того размера, который заложен в расчеты. Это приближенное соотношение получено на основе численных расчетов, и степень его универсальности – насколько оно сохраняет силу для других численных значений входных параметров – еще предстоит выяснить.

3.3 Фазово-частотные характеристики сил.

Фазово-частотные характеристики обеих компонент силы представлены на рис. 4.

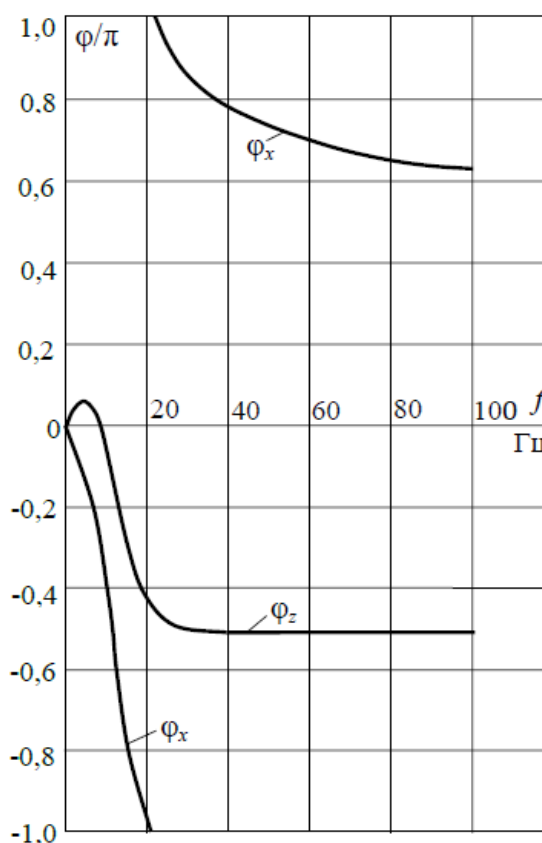


Рис. 4. Фазово-частотные характеристики торможения и левитации (скорость 20 м/с)

По оси абсцисс отложена частота колебаний в Гц, по оси ординат φ_z и φ_x – сдвиг фазы главной гармоники колебаний подъемной и тормозной сил по отношению к колебаниям скорости. Обе кривые начинаются из нуля, то есть, при малых частотах колебания сил синфазны колебаниям скорости. С ростом частоты появляется сдвиг, причем φ_z и φ_x демонстрируют разное поведение.

Фазовый сдвиг по оси z-компоненты силы (φ_z) сначала растет, при некоторой сравнительно малой частоте достигает максимума, потом переходит через нулевое значение, далее убывает, оставаясь в пределах 4-й четверти, и при больших частотах стремится к $-\pi/2$.

Фазовый сдвиг по оси x-компоненты силы (φ_x) с ростом частоты строго убывает, достигает значения $-\pi$ (при этом колебания тормозной силы и колебания скорости находятся в противофазе), продолжает убывать, переходя во 2-ю четверть, и при больших частотах стремится к $\pi/2$.

Представленные кривые относятся к одному значению скорости – 20 м/с. При других заданных значениях скорости качественный вид этих зависимостей сохраняется, изменяются лишь значения характерных точек: все они (максимум φ_z точки смены знака, и пересечения границ четвертей, а также точки начала «насыщения») с ростом скорости смещаются вправо по оси частоты.

Выводы

1. Колебания подъемной и тормозной сил, возникающие вследствие колебаний транспортного объекта, могут быть достаточно значительными для того, чтобы их было необходимо учитывать при расчете и проектировании системы ЭДП.

2. Квазистатический подход к изучению колебаний, не требующий существенно новой теории, применим лишь при низкой частоте. Предварительную оценку порога применимости этого подхода можно получить с помощью постоянных времени.

3. Для каждого значения скорости движения имеется резонансная частота, при которой амплитуды сил подъема и торможения достигают максимума. Эта частота растет с ростом скорости. Этого необходимо учитывать, чтобы избежать нежелательных резонансных явлений.

4. В данной работе, движение транспортного объекта считалось заданным. Понятно, что это лишь первое приближение к постановке и решению самосогласованной задачи, в которой разработанные здесь методы расчета сил, вместе с законами механики позволили бы исчерпывающим образом описать движение объекта.

Библиографический список

1. Voevodskii K. E. Theory of superconducting magnet suspension: main results survey // «Cryogenics». – 1981. – № 12. – pp. 719–728.
2. Астахов В. И. Движение проводящей полосы в магнитном поле // Известия вузов «Электромеханика». – 1977 г. – №8. – С. 846–847.
3. Кочетков В. М. О расчете сил, действующих на электродинамический подвес произвольной конфигурации // «Электричество». – 1978. – №9. – С. 56 – 59.
4. Байко А. В., Кочетков В. М. Система левитации и тяги на переменном токе // Известия вузов «Электромеханика». – 1985 г. – №11. – С. 40 – 47.
5. Стрепетов В. М. Комбинированная система левитации и тяги на переменном токе. Основные результаты. Труды I Международной научной конференции СПб, 29-31 октября 2013. «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии МТСТ'13», СПб.: ПГУПС. – 2013 г. – С. 82–92.
6. Соколов О. Б., Заикин С. М. Исследование силовых характеристик систем электродинамического подвеса высокоскоростных поездов // «Транспорт Урала». – 2013. – №4 (39). – С. 97–100.
7. Bayko A. V. Vertical Unstable Stability of Electrodynamics Suspension of High-Speed Ground Transport / A. V. Bayko, K. E. Voevodskii, V. M. Kochetkov // «Cryogenics». – 1980, – no 5, – pp. 271.
8. Байко А. В., Воеводский К. Э., О вертикальных колебаниях в системе электродинамического подвешивания экипажа ВСНТ. м // Известия вузов «Электромеханика». – 1979. – №11. – С. 983–990.
9. Воеводский К. Э., Мелик-Бархударян В. К. О расчете магнитного поля заданной системы токов // Известия Академии наук СССР «Энергетика и транспорт». – 1989. – №4. – С.166 – 169.
10. Lee S.V., Menendez R. C. Forces at Low and High-speed Limits Magnetic Levitation. – J. Appl. Phys., – 1975, – vol.46, – no 1, – p.72.

References

1. Voevodskii K. E. & Kochetkov V. M. *Cryogenics*, 1981, no. 12, pp. 719-728.
2. Astakhov V. I. *Izvestiia vuzov "Electromekhanika" - Proceedings of the universities "Electro mechanics"*, 1977, no. 8, pp. 846-847.
3. Kochetkov V. M. *Electrichestvo – Electricity*, 1978, no.9, pp. 56-59.
4. Bajko A. V. & Kochetkov V. M. *Izvestiia vuzov "Electromekhanika" - Proceedings of the universities "Electromechanics"*, 1985, no. 11, pp. 40-47.

5. Strepetov V. M. Kombinirovannaya sistema levitatsii i tiagi na peremennom toke. Osnovnye rezultaty (AC Levitation and Traction Combined System. Base results). *Trudy I Mezhdunarodnoi konferentsii "Magnitolevitatsionnye transportnye sistemy i tehnologii"* [Proceedings of the I International conference "Magnetolevitation Transport Systems and Technologies"]. St. Petersburg, 2013, pp. 82-92.
6. Sokolov O. B. & Zaikin S. M. *Transport Urala - Transportation of Urals*, 2013, no. 4 (39), pp. 97-100.
7. Bayko A. V., Voevodskii K. E. & Kochetkov V. M. *Cryogenics*, 1980, no. 5, p. 271.
8. Bajko A.V. & Voevodskii K.E. *Izvestiia vuzov "Electromekhanika" - Proceedings of the universities "Electromechanics"*, 1979, no. 11, pp. 983-990.
9. Voevodskii K. E. & Melik-Barkhudaryan V. K. *Izvestia Akademii nauk SSSR "Energetika i transport" - Proceedings of the USSR Academy of Sciences "Energy and transport"*, 1989, no. 4, pp.166-169.
10. Lee S.-V. & Menendez R. C. *J. Appl. Phys.*, 1975, vol. 46, no 1, p.72.

Сведения об авторах:

ВОЕВОДСКИЙ Константин Эммануилович, кандидат технических наук, доцент кафедры высшей геометрии Санкт-Петербургского государственного университета, E-mail: kv5832@mail.ru

СТРЕПЕТОВ Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханические комплексы и системы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, E-mail: strepetov.vm@mail.ru

Information about authors:

Constantine E. VOEVODSKII, Ph.D., assistant professor of the department "Higher geometry" at St. Petersburg State University, E-mail: kv5832@mail.ru

Vladimir M. STREPETOV, PhD, assistant professor "Electromechanical systems and systems" of Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, E-mail: strepetov.vm@mail.ru

УДК 62

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

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»

ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «МОНОЛЁТ»

Дата поступления 14.03.2016

Решение о публикации 24.03.2016

Дата публикации 28.03.2016

Аннотация: Предлагается транспортное средство, корпус которого выполнен с возможностью создания во время движения аэродинамической подъемной силы, и снабжен механическими средствами связи с неподвижным несущим путём следования, отличающееся тем, что оно использует токопроводящий путь следования на маршевых (скоростных) участках движения, как несомый, подвешенный к транспортному средству, элемент транспортной системы, выполненный как трос-токопровод.

Речь идет о создании на базе монорельсового, канатного и авиационного принципиально нового вида транспорта, сочетающего в себе и усиливающего их лучшие свойства:

- надежность, всепогодность, возможность полной автоматизации управления процессом перевозок и погрузочно-разгрузочных работ;
- высокая грузоподъемность, скорость и дальность действия без увеличения мощности несущих путей;
- соответствие высоким требованиям со стороны экологии и экономичность в расходовании энергоносителей, за счет возможности применения в этом качестве различных средств от электроэнергии до энергии природного газа;
- гибкость формирования состава транспорта.

Новое транспортное средство, использует монорельс в качестве пути следования; его корпус может быть выполнен с возможностью создания в нем подъемной силы на принципе аэростатики и дополнительно снабжен конструктивными элементами, для создания при движении аэродинамической подъемной силы. При этом путь следования может быть выполнен в виде сочетания мощных разгонных участков и облегченных маршевых участков. Монорельс пути следования может быть выполнен (быть снабжен) токопроводом, питающим силовую установку, а на маршевых участках пути может быть выполнен, как трос-токопровод. Силовая установка может быть выполнена в виде комбинации двигателей электрической тяги с двигателями реактивной тяги или тяги воздушного винта, с возможностью изменения положения вектора тяги в плоскостях от горизонтальной до вертикальной.

Логически оправдано наименование предлагаемого вида транспорта: "МОНОЛЕТ" – действительно, это ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО, ВЫПОЛНЯЮЩЕЕ ДВИЖЕНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕ, БЛИЗКОЕ К ПОЛЕТУ, ПО ЕДИНСТВЕННОЙ ТРАЕКТОРИИ, ЗАДАННОЙ РЕЛЬСОМ ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ.

Ключевые слова: транспортная система; монолёт; магистральные перевозки; обороноспособность страны.

E. A. Milovanova, A. I. Milovanov, A. A. Milovanov

The Irkutsk State Railway Transport University, Irkutsk, Russia

APPROACHES TO THE CREATION OF THE NEW VEHICLE OF
«MONOJET»

Abstract: The vehicle is offered the body of which is made to create during the movement an aerodynamic elevating force, and is supplied with mechanical means of communication with a motionless carrying track. The distinguished feature of this vehicle is that it uses current conducting track being on high-speed sections of the track as a unit of transport system suspended to the vehicle in the function of cable-current conductor.

The aim of the works creation on the basis of monorail, suspended cable-way and airtransport of essentially new type of transport combining their best properties and strengthening them:

- reliability, weatherproof, opportunity of complete automation of management of process of transportations and cargo handling works;
- high carrying capacity, speed and range of action without increasing capacity of bearing(carrying) ways;
- meeting the high requirements on the part of ecology and profitability in an expenditure of energy carriers, because of application of various means from the electric power up to energy of natural gas;
- flexibility of formation of structure of transport.

The new vehicle, uses a monorail as track; its body can be made to create in it the elevating force on a principle of aerostatics and in addition it is supplied with constructive elements, to create aerodynamic elevating force during the movement. Thus the track can be made as a combination of powerful sections for an acceleration and facilitated mid-flight sites. The monorail of a transit can be supplied with current conductor, feeding power installation, and on mid-flight sections of a way it can be made, as a cable-current conductor. The power(force) installation can be made as a combination of engines of electrical draft with engines of jet draft or draft of the air screw, to change the position of a vector of draft in planes from horizontal up to vertical.

The name of an offered type of transport is logically justified: "MONOJET" - IS THE VEHICLE CARRYING OUT MOVEMENT IN SPACE CLOSE TO FLIGHT, ON a UNIQUE TRAJECTORY GIVEN BY A RAIL OF THE TRACK.

Key words: Transport System, Monojet, Magistralny Transportation, Country's Defense

1. Введение

Известна черта национальной гордости россиян, основывающаяся на осознании возможности распоряжаться наибольшей, по сравнению с другими народами, частью суши Земли. При этом, огромная территория России, – назовем ее "транспортное пространство", - представляя собой высочайшую экономическую ценность, является весомым фактором живучести и устойчивой опорой обороноспособности страны.

Государство, рационально использующее свое транспортное пространство, - процветает. Известно, что лучшей проверкой состояния государственной экономики являются экстремальные ситуации в жизни страны. Поэтому наиболее яркими историческими примерами, косвенно подтверждающими значимость способности пользования транспортным пространством, являются события, оказавшие самое заметное воздействие на чувство национальной гордости россиян в 20-м веке. Первым таким событием следует, видимо, признать поражение в Русско-японской войне в 1905 году, во многом определившееся не замкнутостью транспортного пространства России к началу войны, из-за чего русские войска на Дальнем Востоке оказались в фактической изоляции от страны.

Второе событие - несомненно, победа в Великой Отечественной войне. Победоносное шествие гитлеровских войск по странам Европы, во многом обеспеченное правильной концепцией использования транспортного пространства, было остановлено и обращено вспять не только гением военачальников, героизмом солдат и поддержкой союзников, но и по причине несостоятельности этой концепции для транспортного пространства СССР. И, наоборот, советское руководство сумело найти оптимальную форму организации работы располагаемого транспортного пространства.

Сейчас, на выходе из очередного крутого поворота Российской истории, во весь рост обострилась потребность в разработке и реализации эффективных мер укрепления экономического потенциала и обороноспособности страны.

При этом материальные ресурсы благосостояния народа, сосредоточенные на поверхности территории страны и в её недрах, по-прежнему оцениваются, как самые богатые в мире, и постоянно находятся под прицелом алчных взглядов ото всех границ. К сожалению, состояние экономики страны сегодня определяется, в значительной мере, умением властей правильно распорядиться сырьевыми и топливными ресурсами, дарованными нам природой. Наряду с необходимостью повышения готовности отвечать на серьёзные вызовы в адрес обороноспособности

страны, эта задача выдвигает возрастающие требования к развитию и модернизации транспортных связей.

С первого взгляда на карту страны видно, что сравнительно достаточное обеспечение транспортными связями имеет только европейская её часть, запасы природных богатств которой уже в значительной степени истощены. Всё восточное Зауралье до побережья Тихого океана имеет фактически по одной эффективной магистрали автомобильного, железнодорожного и авиационного транспорта, которые расположены вдоль южной границы и связывают одни и те же крупные промышленные центры.

В меридианальном направлении надёжные транспортные связи, кроме воздушных и водных путей и дорог местного значения, практически отсутствуют. При этом ритмичная работа водного и воздушного транспорта не может быть обеспечена в связи с резкими сезонными изменениями погодных условий регионов. А местные дороги не способны перерасти в магистральные, если они не будут связывать крупные узлы. Учитывая состояние экономики страны, сегодня всерьёз о создании таких узлов говорить не приходится.

Таким образом, цель укрепления обороноспособности, наряду с повышением эффективности освоения природных богатств Сибири и Дальнего Востока и Севера страны, делает необходимым поиск возможностей рационализации транспортных связей России на нетрадиционных направлениях, как для собственных нужд, так и для нужд мирового сообщества.

2. Перспективы применения известных транспортных систем для зоны Восточного Зауралья

2.1 Железные и автомобильные дороги

Использование территории России для рационализации мировых транспортных связей способно резко сократить пробег грузов и пассажиров между пунктами Европы и Азии. При том, что дальность морских перевозок между ними составляет 30-35 тыс. км., особо привлекателен сравнительно дешёвый и высоко надёжный железнодорожный путь от западной до восточной границы России.

Существенным препятствием здесь является недостаточное техническое оснащение железных дорог страны, в том числе и Транссибирской магистрали, которая строилась ещё в XIX веке. При этом и пробег грузов по железной дороге между Москвой и Владивостоком

почти на 2 тыс. км. превышает это расстояние по кратчайшему направлению, которое может быть реализовано в современных условиях.

Решению проблемы может послужить сооружение новой скоростной двупутной магистрали с колеёй, принятой в большинстве стран мира, и с использованием новейших технических решений по созданию высокоскоростного железнодорожного транспорта. Выполняя основную задачу обеспечения международного транзита пассажиров и грузов, - такая "супермагистраль" могла бы служить базовой опорой для развития местных транспортных связей в меридиональном направлении, в том числе и на нетрадиционных для России путях технической реализации.

Однако, концепция освоения и контроля жизненного пространства, базирующаяся на идее создания стационарных наземных транспортных связей, обязательной основой которых служит сплошное земляное полотно, выглядит несостоятельной для зоны Восточного Зауралья.

Геотектоника региона, климатические условия и протяженность этих связей требует неподъемных для страны затрат на их создание и содержание. Необходимость включения туннелей в состав транспортной сети, продиктованная условиями местности, повышает степень уязвимости пути и опасности процесса перевозок (красочную иллюстрацию этому соображению дает пример Северо-Муйского туннеля, как и, в целом, затянувшийся процесс превращения БАМа в прибыльное предприятие).

Сказанное в равной мере относится (с поправкой на величину удельной нагрузки на единицу транспортного средства) к имеющей стратегическое значение автомобильной магистрали, параллельной главному ходу железной дороги.

В дальнейшем для обоснования целесообразности развития нетрадиционных для России транспортных связей, в качестве примера, приводятся доводы, опирающиеся на нужды и возможности Восточной Сибири, Дальнего Востока и Севера страны.

2.2 Водные и воздушные пути

Водные и воздушные пути сообщения представлены в зоне Восточного Зауралья ограниченным числом транспортных связей, отвечающих характеристике магистралей: водные, по преимуществу, в меридиональном направлении, воздушные – в широтном. Это ограничение продиктовано малым количеством на азиатской части территории страны крупных промышленных центров – опорных узлов для транспортных магистралей, что, в свою очередь, обусловлено слабой мотивацией роста плотности населения.

Зависимость от сезонных условий эксплуатации резко снижает решающее достоинство водного транспорта: возможность использования транспортных средств высокой грузоподъемности (отсюда, например, – регулярно проявляющаяся проблема северного завоза).

Обслуживающие воздушные пути сообщения, воздухоплавающие и авиационные транспортные средства не требуют сплошного полотна в качестве пути следования (путь следования определяется беспорядочным перемещением в пространстве, а значит, может иметь любую форму в плане).

Однако, существенным противовесом основному достоинству этих видов транспорта, - высокой маневренности при широком диапазоне скоростей движения, - становятся ограничения со стороны использования энергоносителей для обеспечения автономного полета.

2.3 Канатные дороги

Канатные дороги используются для перевозок на коротких и средних расстояниях. Особенно они эффективны в условиях горной и пересеченной местности, где по ряду показателей превосходят все другие транспортные средства. Основными преимуществами канатных дорог являются:

- малая зависимость от рельефа местности; большие допустимые уклоны пути (50°) и пролеты между опорами (свыше 500м) позволяют прокладывать трассу по кратчайшему расстоянию и пересекать естественные и искусственные преграды без устройства дорогостоящих искусственных сооружений;

- гибкость трассы дорог в плане, вследствие возможностей использования кривых малых радиусов (до 5м) и больших углов поворота (до 180°);

- малая зависимость от атмосферных условий, обеспечивающая возможность бесперебойной работы в условиях снежных заносов, гололеда и др.;

- возможность полной автоматизации погрузки, транспортировки и выгрузки грузов;

- способность обеспечить пассажирам высокое эстетическое удовлетворение, недостижимое при пользовании любым другим видом транспорта, путем прокладки трассы по наиболее живописным местам.

Идея создания и развития подвесных канатных дорог в городах и окружающих природоохраненных зонах предусматривает достижение целей:

- решение проблемы пассажирских перевозок в городах без существенной реконструкции и увеличения мощности сложившейся сети дорог;

- реализация потенциала природных богатств, при их сохранении, путем развития индустрии международного туризма на высоком научно - техническом и культурном уровне;

- обеспечение горнодобывающей промышленности надежным, высокопроизводительным, дешевым транспортным средством.

Таким образом, экономическая выгода обеспечивается ростом технической и культурной оснащенности города, края, области, региона, при соответствии способа получения доходов высоким требованиям со стороны экологии.

Однако, обеспечивая высокую конкурентоспособность в местных перевозках, сравнительно невысокая грузоподъемность транспортных средств канатных дорог делает невозможной их применение для магистральных перевозок грузов из категории сырьевых и топливных ресурсов.

2.4 Монорельсовые железные дороги

Монорельсовые железные дороги относятся к разделу специальных надземных эстакадных дорог, применяемых в основном для перевозки пассажиров, изредка, для транспортирования грузов (большой частью в пределах территории предприятия, в качестве внутризаводского транспорта). Основными преимуществами монорельсовых дорог являются:

- возможность реализации высоких темпов строительства с использованием индустриальных методов и современной монтажной техники, так как основной объем строительных работ представлен сборочными работами и исключен огромный объем земляных работ, свойственных видам транспорта, требующим сплошного наземного полотна. При этом практическая работа действующего транспорта не нарушается. Стоимость постройки монорельсовой дороги в городах меньше стоимости сооружения: метрополитена - в 2 - 8 раз, современной автострады – в 1,2 - 3,0 раза и надземной железной дороги - в 2 - 6 раз. Опыт действующих монорельсовых дорог показывает, что средний уровень эксплуатационных расходов на них на 15-30% ниже, чем у трамвая;

- монорельсовые дороги имеют высокую пропускную способность, приближающуюся к пропускной способности метрополитена, при этом среднеэксплуатационные скорости на известных монорельсовых дорогах, действующих в черте городов, в 1,5 - 2 раза превышают средние скорости метрополитена;

- высока степень надежности монорельсовых дорог, связанная с независимостью от других видов транспорта и возможностью

автоматизации процесса движения на современном техническом уровне. Ярким примером служит безаварийная работа Вуппертальской монорельсовой железной дороги, действующей с 1901 года. Кстати, постройка 1 км этой дороги стоила в 4 - 5 раз дешевле, чем постройка 1 км метрополитена для того же времени;

- независимость эксплуатационных характеристик от климатических и городских условий и значительно меньшая зависимость формы пути в плане от сложностей рельефа местности, по сравнению с видами транспорта, требующими сплошного наземного полотна.

Идея создания и развития сети подвесных монорельсовых железных дорог предусматривает (кроме указанных для канатных дорог) цель быстрого выхода к пунктам добычи полезных ископаемых, расположенных в труднодоступных районах, со свойственными большей части территории России сложными климатическими условиями, и их эксплуатации при использовании вахтового метода.

Однако возможности применения монорельсового транспорта ограничены для выполнения, например, перевозок с обеспечением высокой грузоподъемности, так как в этом случае требуется значительное увеличение мощности несущего пути из-за того, что на всех участках пути следования сохраняется практически неизменным соответствие между мощностью силовой установки, массовыми и нагрузочными характеристиками. Это обстоятельство резко снижает преимущества монорельсового транспорта перед железнодорожным на сплошном земляном полотне.

2.5 Результаты патентных исследований.

Обзор патентной информации о технических решениях, развивающихся и совершенствующих идею подвесного транспорта, позволил выделить из их многообразия решения, обобщенно отражающие конструкторские идеи, перспективные для выполнения намеченных целей.

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 подвесной 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 энерговооружённость транспортного средства.

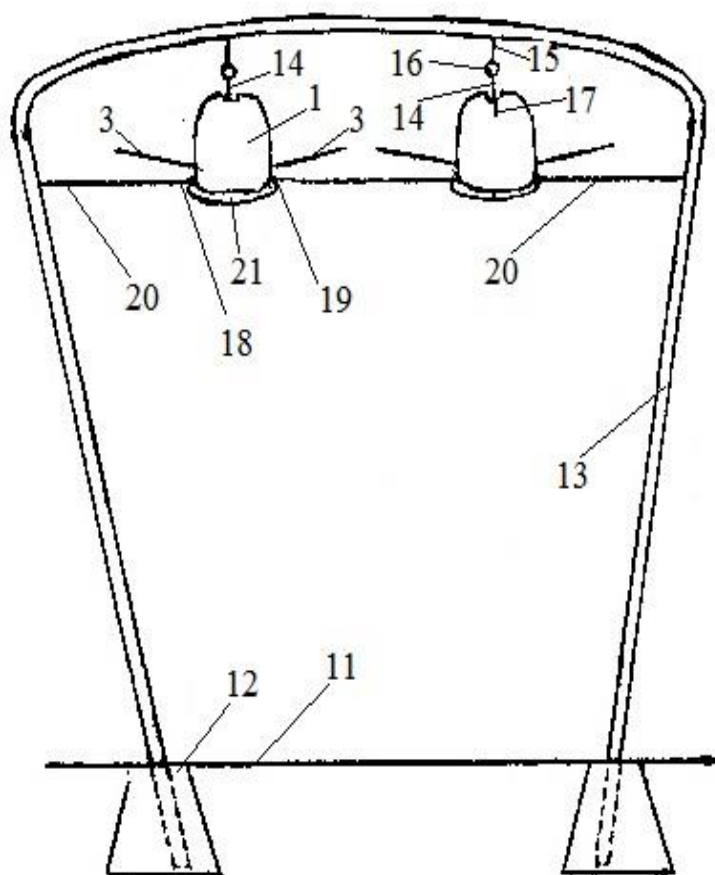


Рис. 1. Схема транспортной системы по патенту Франции N1.409.728.

Схема этого решения представлена на рис.1, где: 14-направляющий элемент пути следования, 15-элемент подвешивания пути к опоре (портику) 13 посредством соединительного шарнира 16, 20-жесткие направляющие движения с элементами 18, 19, 21, служащими опорой для корпуса F транспортного средства, снабжённого крыльевыми элементами 3.

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

Схема транспортной системы на рис. 2, где: 1 - направляющие балансиры; корпус аппарата легче воздуха; 4, 5-двигатели с воздушными винтами; 6, 7 - аэродинамические плоскости; 8, 9, 10, 11, 12 – поворотные рамные тележки и их элементы.

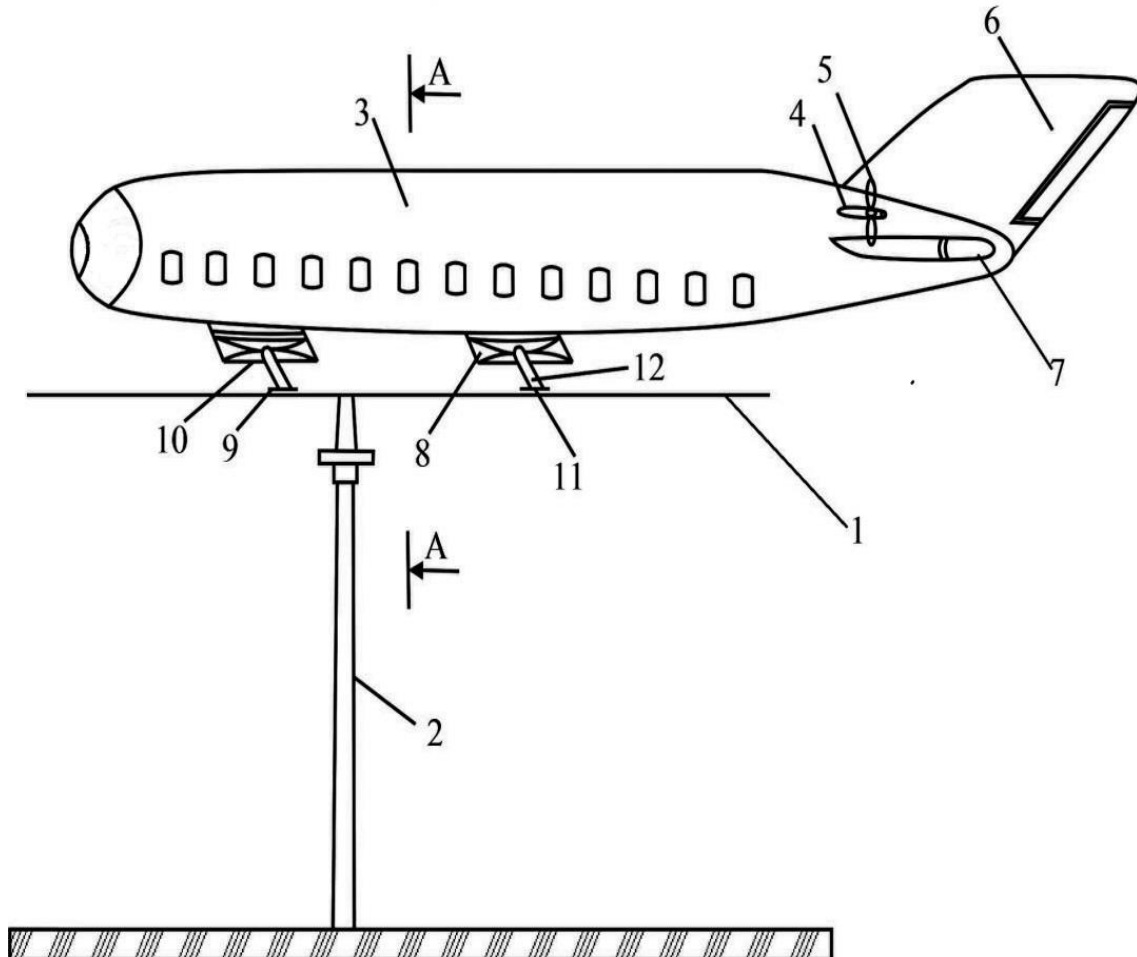


Рис. 2. Воздушная транспортная система инженера В. Н. Андрейченко

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.

Схема транспортной системы приведена на рис.3, где: 1-дирижабль; 7, 8-токоприёмник с кабелем; 9, 10-средство для регулировки напряжения кабеля 8; 14, 17-направляющий трос с токонесущим токопроводом; 22-опора.

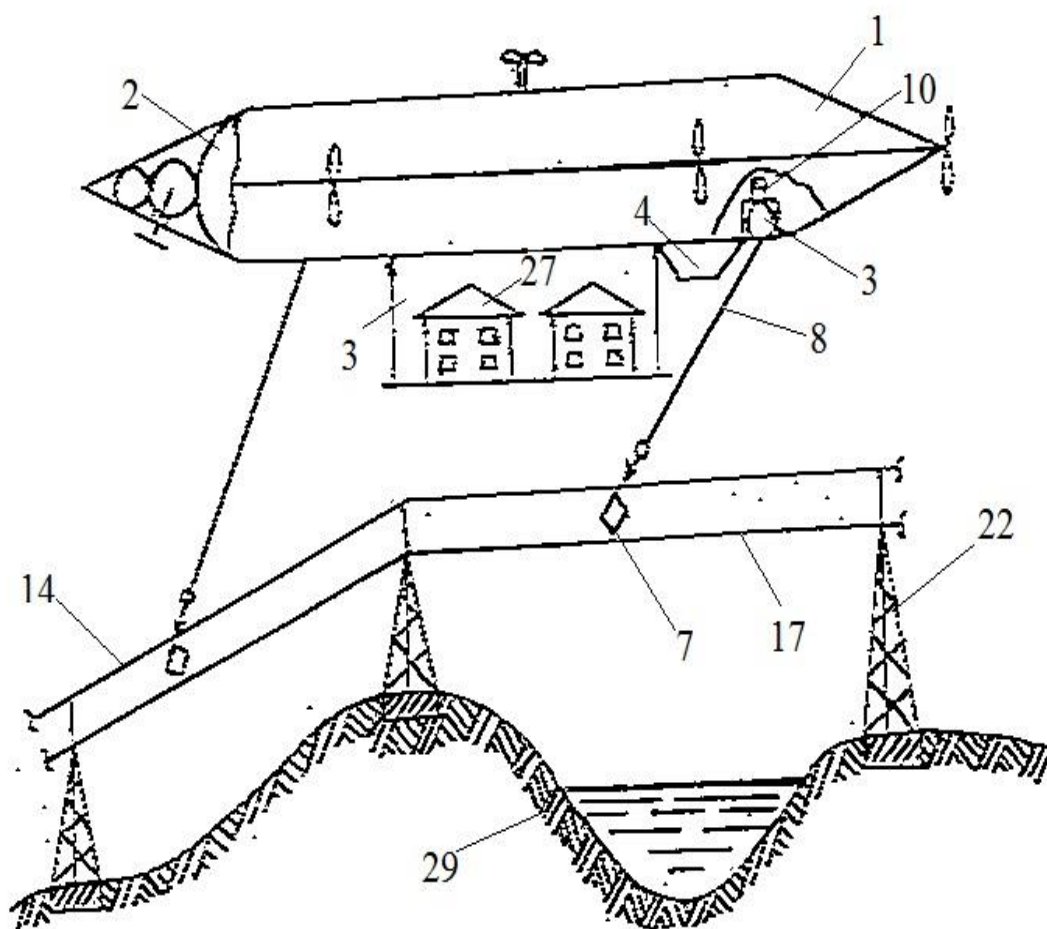


Рис. 3. Воздушная транспортная система по а.с. № 885087

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.

Схема экранолёта приведена на рис.4, где: 1-крыло с концевыми шайбами 4 укреплено на корпусе 2 с шайбой 5 и мотогондолой 6. В носовой части корпуса расположен шарнир 10, связывающий его с кареткой 3, движущейся с помощью направляющих роликов 9 по монорельсу 8.

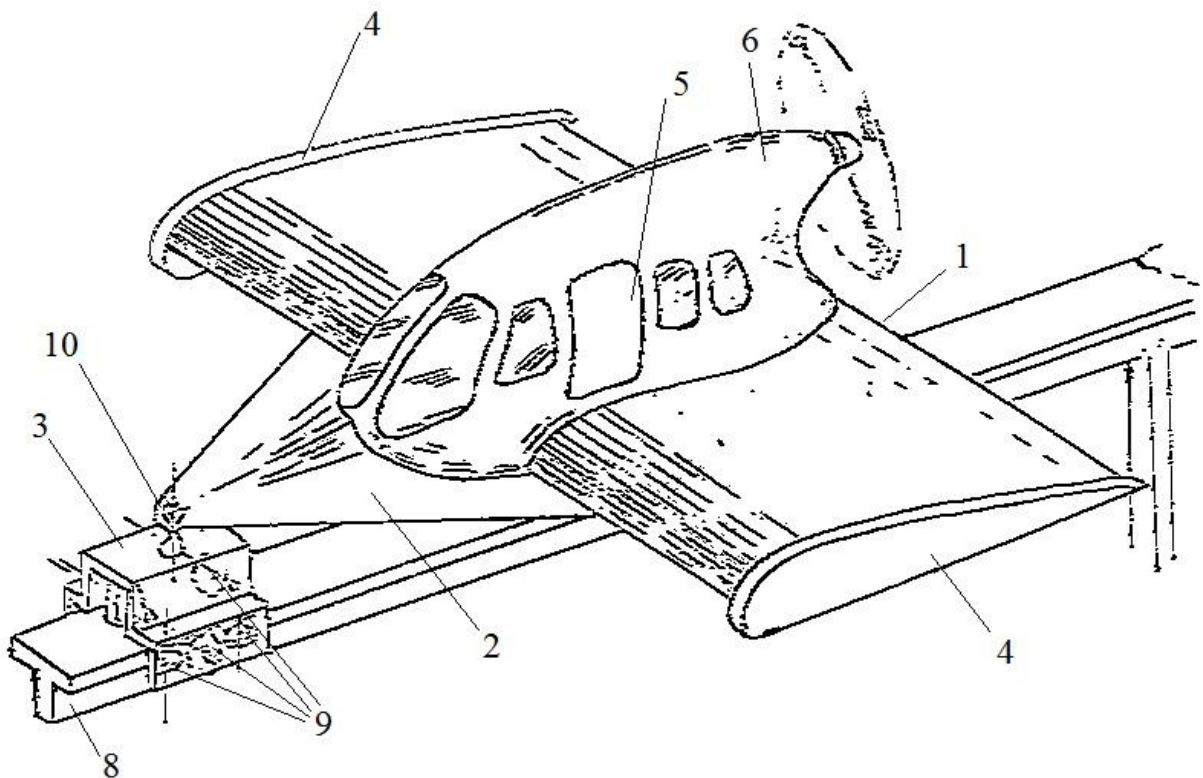


Рис. 4. Экранолёт по заявке ФРГ N 2327024

Общим достоинством перечисленных технических решений, кроме указанных в общей характеристике канатных и монорельсовых железных дорог, 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. N 1.409.728 и в а.с. СССР N 885087.

Однако, несущая способность этих транспортных систем, вошедших в обзор, как и вообще канатных дорог - ограничена при условии большой весовой отдачи в грузовых перевозках и при загрузке их обычным способом: без дополнительных технических средств, на стоянке. И осуществление грузовых перевозок на большие расстояния с их помощью - неэкономично.

Комплексно общий недостаток видов транспорта, не требующих сплошного земляного полотна, выражается в неэкономичности осуществления с их помощью перевозок грузов, подпадающих под категорию сырьевых и топливных ресурсов.

3. Разработка конструктивной схемы "МОНОЛЁТА" и обоснование возможности и целесообразности её технической реализации

3.1 Обоснование идеи "МОНОЛЁТА"

Железнодорожное транспортное средство «Монолет» защищено патентом на изобретение РФ № 214891. На начальной стадии патентования была предложена такая редакция формулы изобретения:

Транспортное средство, корпус которого снабжён конструктивным элементом, выполненным с возможностью создания во время движения аэродинамической подъёмной силы, и механическими средствами связи с неподвижным несущим путём следования, отличающееся тем, что оно выполнено с возможностью использования токопроводящего пути следования на маршевых (скоростных) участках движения, как несомого, подвешенного к транспортному средству, элемента транспортной системы, выполненного как трос-токопровод.

Техническая реализация этой формулы в полном объёме ведёт к созданию железнодорожного транспортного средства, использующего монорельс в качестве пути следования, корпус которого, с целью уменьшения давления на путь, и, таким образом, исключения необходимости повышения несущей мощности монорельса при увеличении грузоподъемности транспортного средства, может быть выполнен с возможностью создания в нем подъемной силы на принципе аэростатики и дополнительно снабжен конструктивными элементами, например, плоскостями для создания аэродинамической подъемной силы во время движения. Силовая установка, использующая различные энергоносители от электроэнергии до энергии химических реакций, может быть выполнена с возможностью изменения положения вектора тяги от горизонтального до вертикального. При этом путь следования может быть выполнен в виде сочетания разгонных участков, отвечающих своими прочностными характеристиками требованиям высокой удельной грузоподъемности (аналог аэродрома), с маршевыми участками (аналог железнодорожного перегона), прочностные требования к которым могут быть значительно снижены, за счет действия аэростатической и аэродинамической подъемной силы и вертикальной тяги силовой установки. Монорельс пути следования может быть выполнен (может быть снабжен) токопроводом, питающим силовую установку, а на маршевых участках пути может быть выполнен, как трос-токопровод. Как вариант, на маршевых участках может быть применен жесткий монорельс, опирающийся на облегченную

эстакаду, прочностные требования к которой значительно снижены по сравнению с эстакадой разгонного (тормозного) участка пути.

Силовая установка может быть выполнена в виде комбинации двигателей электрической тяги с двигателями реактивной тяги или тяги воздушного винта, с возможностью изменения положения вектора тяги в плоскостях от горизонтальной до вертикальной. Транспортное средство может быть представлено в виде одиночного индивидуального объекта или в виде состава, выполненного сочетанием индивидуальных объектов, при этом каждый из объектов в составе может обладать своими отличительными конструктивными признаками, отвечающими его индивидуальному назначению в составе транспортного средства.

Речь, таким образом, идет о создании на базе монорельсового, канатного и авиационного принципиально нового вида транспорта, сочетающего в себе и усиливающие их лучшие свойства:

- надежность, всепогодность, возможность полной автоматизации управления процессом перевозок и погрузочно-разгрузочных работ;
- высокая грузоподъемность, скорость и дальность действия без увеличения мощности несущих путей;
- соответствие высоким требованиям со стороны экологии и экономичность в расходовании энергоносителей, за счет возможности применения в этом качестве различных средств от электроэнергии до энергии природного газа;
- гибкость формирования состава транспорта.

Логически оправдано наименование предлагаемого вида транспорта: "МОНОЛЕТ"- действительно, это ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО, ВЫПОЛНЯЮЩЕЕ В ПРОСТРАНСТВЕ ДВИЖЕНИЕ, ОДНИМ ИЗ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОТОРОГО ЯВЛЯЕТСЯ ПОЛЕТ, ПО ЕДИНСТВЕННОЙ ТРАЕКТОРИИ, ЗАДАННОЙ РЕЛЬСОМ (ТРОСОМ-ТОКОПРОВОДОМ) ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ.

3.2 Конструктивная схема "МОНОЛЁТА" и пути её технического решения.

Уже сама постановка задачи о создании такого вида транспорта предполагает развитие новых направлений для научно-технического обеспечения ее решения. Вот самые очевидные:

- при сохранении категоричности железнодорожного, новое транспортное средство должно обладать качествами, присущими летательному аппарату;
- силовая установка, обеспечивающая движение транспортного средства, становится комбинированной, т.к. в этом случае имеется возможность использования преимуществ электрической тяги в сочетании

с реактивной тягой или тягой воздушного винта, при этом созданию горизонтальной тяги, для скоростного движения вдоль пути следования, может сопутствовать создание вертикальной тяги, для снижения давления на путь;

- кардинально изменяется структура построения пути следования по сравнению с известными транспортными путями со сплошным полотном, т.к. для нового вида транспорта требуются разгонные участки с мощным несущим рельсом и малыми пролетами между опорами (вблизи станций) и маршевые участки с облегченным рельсом и увеличенными пролетами, на которых полностью реализуется способность транспортного средства использовать аэростатические и аэродинамические силы, а также вертикальную тягу двигателей для уменьшения давления на путь (на длинных перегонах), вплоть до обеспечения способности транспортного средства нести путь следования на себе.

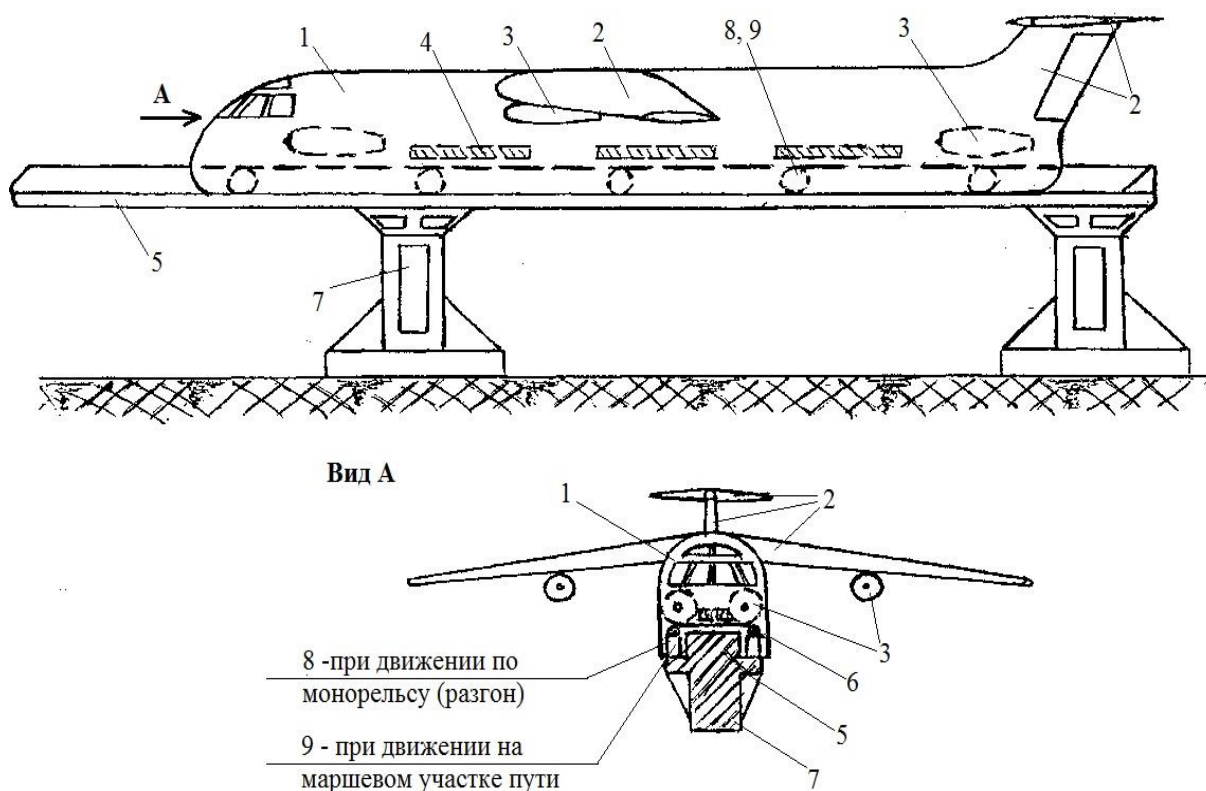


Рис. 5. «Монолет» на стоянке

Пример одного из возможных вариантов конструкторского решения представлен на рис. 5, где: 1 - корпус транспортного средства; 2 -

плоскость для создания подъемной силы и стабилизации положения транспортного средства при движении; 3 - двигатель, использующий реактивную тягу или тягу воздушного винта; 4 - устройство для изменения положения вектора тяги; 5 - токонесущий монорельс; 6 - трос-токопровод; 7 - опора; 8 - шасси-токоъемник; 9 - роликовый токоъемник; 10 - ложемент троса-токопровода на опоре.

Структура пути следования изображена на рис. 6.

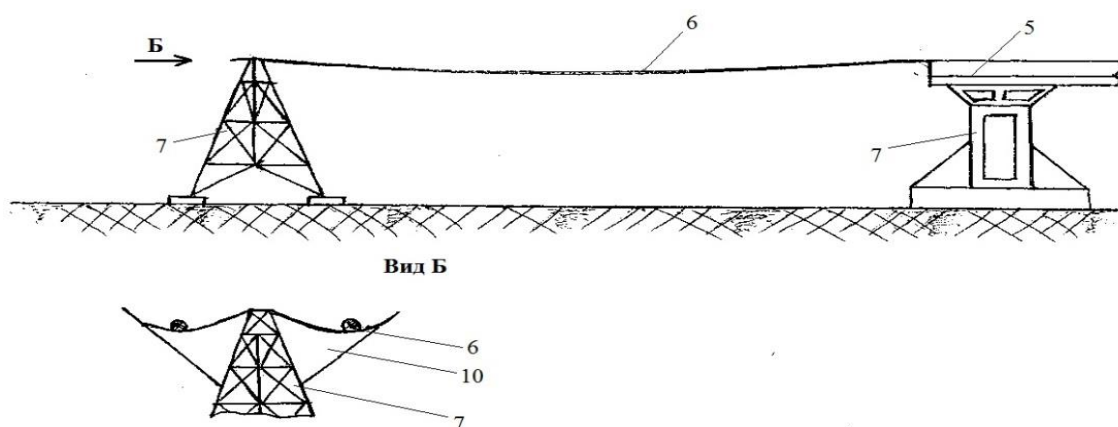


Рис. 6. Структура пути следования «Монолета»

3.3. Работа предлагаемого транспортного средства по перемещению полезных грузов состоит из трех этапов:

I этап - запуск двигателя и разгон.

Транспортное средство находится на разгонном участке пути следования - аналоге аэродрома - с мощным несущим монорельсом и малыми пролетами между опорами. Запуск силовой установки и вывод двигателей на рабочий режим осуществляется от питающего токопровода, являющегося элементом пути следования. Регулировкой работы двигателей между транспортным средством и поверхностью монорельса создается воздушная подушка.

Опора на монорельс осуществляется посредством шасси, которое дополнительно является токоъемником. Длина разгонного участка соответствует набору транспортным средством скорости движения, соответствующей экономичному режиму работы двигателей при обеспечении значения величины подъемной силы на плоскостях, соответствующего минимальному, для обеспечения устойчивого движения в вертикальной плоскости, давлению на путь, которое должно сохраняться все время движения по маршевому участку II-го этапа.

II этап. К этому моменту поворотом жалюзи, размещенных в сопловых аппаратах двигателей реактивной тяги (поворотом оси тяговых двигателей и пр.) создается вертикальная тяга, величиной которой регулируется давление на путь и, таким образом, стабилизируется движение транспортного средства в вертикальной плоскости. Несущий монорельс трансформируется в трос-токопровод. Шасси выходит из контакта с монорельсом, в дальнейшем токоосъем осуществляется с помощью роликов, по которым скользит трос-токопровод. Облегченный монорельс (трос-токопровод) питает силовую установку и задает траекторию транспортного средства в плане.

III этап - торможение - участок пути следования, представляющий собой зеркальное отражение разгонного участка. Здесь происходит эффективное торможение транспортного средства, для чего дополнительно могут быть применены отработанные в авиации приемы, такие как реверс двигателей или снабжение плоскостей средствами механизации (закрылки, щитки и т.д.). В следующем цикле движения этот участок пути становится разгонным для перемещения транспортного средства в обратном направлении или продолжения движения по маршруту.

3.4. Техническое обеспечение проблемы

Задача создания такого транспортного средства имеет достаточное обеспечение опытом решения проблем создания и развития транспортной техники по отраслям:

- конструкторские разработки по созданию корпусов надземных и подземных транспортных средств, отвечающих требованиям аэродинамики, сродни разработкам авиационных конструкторов;

- т.к. вдоль всего пути следования несущий монорельс может являться (быть снабжен) токопроводом, то запуск приданных транспортному средству авиадвигателей и корректировка их работы в течение всего процесса движения, а также дублирование с целью повышения суммарной мощности силовой установки, могут быть осуществлены с помощью двигателей электрической тяги на постоянном и переменном токе, в использовании которых накоплен достаточный опыт;

- накопленный при создании самолетов короткого взлета-посадки опыт использования силовых установок с изменением положения вектора тяги, от вертикального на взлете до горизонтального в крейсерском полете, может быть успешно использован для снижения давления на путь на всех участках следования;

- наконец, путь следования представляет собой комбинацию разгонного участка, - аналога аэродрома, - отвечающего своими прочностными характеристиками требованиям к железнодорожному полотну, и маршевого участка, - аналога железнодорожного перегона, - прочностные требования к которому существенно снижены за счет использования транспортным средством свойств, присущих авиатранспорту; при этом задача о создании несущего рельса, по которому перемещается транспортное средство, может трансформироваться в задачу о создании транспортного средства, несущего трос-токопровод, задающий траекторию пути следования, что избавляет конструкторов от необходимости повышения жесткости несущего монорельса при увеличении грузоподъемности обычных, использующих его, транспортных средств.

Поэтому с полной уверенностью можно утверждать техническую возможность, а, учитывая острую потребность страны в развитии новых транспортных связей, и экономическую целесообразность создания предлагаемого вида транспорта.

Уникальным по своей бесконечности просторам России нужен именно такой вид транспорта для быстрого выхода к своим природным богатствам, в том числе и путем развития транспортных связей в меридианальном направлении.

3.5. Некоторые перспективы реализации идеи «МОНОЛЕТА»

3.5.1 Монолет-авиамавка

XX-й век по праву может быть назван веком авиации. Действительно в этой отрасли нашли применение самые смелые технические идеи и самые передовые технологии века. Именно авиация стала мостиком для шага в межпланетное пространство. Однако, при всех шумных успехах технического прогресса, сопутствующего развитию отрасли, современному самолету не нашлось достойного для сравнения аналога в биосистеме Земли, созданной самым последовательным и самым рациональным конструктором – Природой. (А может сама авиация не доросла до подобных аналогий?) Такому сравнению должен был бы отвечать летящий страус или бегущий орел.

Сочетание в одном транспортном средстве двух функций по выполнению опорного и безопорного движения порождает сомнение о правильности выбора пути с самого начала. А если учесть, что, исключая случаи сознательного целенаправленного уничтожения самолетов в воздухе, почти 100% летных происшествий, в том числе и самых тяжелых

катастроф, приходится на режим взлета-посадки, то сомнение это становится более чем обоснованным.

Летательный аппарат должен летать!

Наземное транспортное средство должно перемещаться по земле!

Монолету вполне по силам стать передаточным звеном в этой цепочке.

Реально выполнимой становится задача создания «подвижного аэродрома», авиаматки, способной нести на своей поверхности летательные средства и служить для них стартовой площадкой, обеспечивающей своим движением высокую стартовую скорость при запуске летательного аппарата или возможность прекращения им самостоятельного полета (посадки) при сохранении высокой скорости движения относительно земли.

При этом МОНОЛЕТ, как сухопутный, практически не сбиваемый авианосец, или как высоко грузоподъемное и высоко скоростное транспортное средство для переброски войск и военной техники, вполне отвечает концепции оборонительной стратегии при строительстве Вооруженных Сил страны, обеспечивая возможность обходиться малочисленной, высокопрофессиональной армией.

Во время движения над равнинными участками суши, в тундре, над водной гладью МОНОЛЕТ способен продуктивно использовать экранный эффект для создания дополнительной аэродинамической подъемной силы, вследствие чего вовсе не фантастической выглядит перспектива использования его в экваториальных водах, как стартовой площадки для запуска космических кораблей. В этом случае следует лишь научиться прокладывать трассу пути следования в морских просторах используя для этого, например, располагаемый опыт создания стационарных плавсреств типа морских нефтяных вышек.

3.5.2. Перспективы области знания и научных исследований

Развитие транспортных систем с МОНОЛЕТОМ 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 с целью обеспечения бесперебойного питания силовых установок транспортных средств.

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, бесконтактные системы передачи энергии на борт транспортного средства.

3.5.3 Перспективы освоения труднодоступных районов планеты.

Россия, обладая наибольшей территорией, имеет на этой территории районы с относительной наименьшей плотностью населения, а значит, по существу, неосвоенные районы. Развитие предлагаемой транспортной системы откроет возможности доступа в эти районы без создания дорогостоящих стационарных базовых пунктов. Особенно важно это обстоятельство для освоения и эксплуатации полярных областей Земли, потенциал которых сегодня исследован немногим больше, чем к началу полярных экспедиций. Наконец, простая необходимость поддержания жизнедеятельности северных городов страны является достаточным доводом для создания предлагаемой системы.

4. Заключение

Ясно, что по состоянию на данный момент предложение вносится на уровне технической идеи, проработано эскизно. Поэтому, естественно, многие вопросы технического, организационного, научного, экономического характера остались вне поля зрения разработчиков. Однако есть полная уверенность в необходимости попытки ее реализации. Эта уверенность базируется на вполне прогнозируемом объеме выгод по многим направлениям развития научной и хозяйственной деятельности зон Сибири, Дальнего Востока и Севера, например:

- в создании устойчивых транспортных связей в меридиональном направлении, в том числе, в решении проблемы «северного завоза»;

- в освоении полярных областей (с учетом предсказуемой предстоящей борьбы за обладание просторами Арктики, а затем, вероятно, и Антарктики);

- в создании стационарных надземных межконтинентальных «транспортных мостов»;

- даст новый импульс совершенствованию отечественной авиационной техники, а также обеспечит возможность возрождения на качественно новом уровне подвижных стратегических средств обороны, отвечая оборонной концепции формирования вооруженных сил страны;

- позволит вплотную подойти к решению проблемы запуска космических кораблей из экваториальных областей мирового океана.

Перечисленные доводы дают возможность перехода в стадию реального проектирования предлагаемой транспортной системы с формулировкой реально достижимых и осуществимых:

А) целей и задач проекта:

- укрепление обороноспособности страны;
- открытие нового поля деятельности для появления отечественных высоких технологий;
- выравнивание экономического потенциала и жизненного уровня в регионах;
- обеспечение достойного рода занятий подрастающему и будущим поколениям россиян на всей территории страны;
- рационализация использования транспортного пространства России для собственных нужд и нужд мирового сообщества.

Б) действий по достижению поставленных целей:

- разработка способов и устройств, для выполнения в полном объеме комплекса научно-исследовательских работ для железнодорожной транспортной системы в условиях стационара;
- проектные исследования в разработке нетрадиционных для России транспортных систем и адаптация полученного научно-исследовательского комплекса к задачам проектирования и экспериментальной отработки этих систем.

Очевидно, что решение задачи создания надежных транспортных связей в зоне Сибири, Дальнего Востока и Севера страны, следует начинать, взяв за базовую железнодорожную транспортную систему, как наиболее эффективную для осуществления магистральных перевозок, резко повысив качество научно-технического обеспечения. При этом перспектива развития этих связей должна предусматривать исключение зависимости от диктата зарубежных технологий, при разумном дозированном использовании полезных сведений.

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 и др. / – М.: Машиностроение, 1969. – 280 с.
3. Милованов А. И. / Железнодорожное транспортное средство "Монолет" / Патент РФ № 2104891. Бюл. № 5. 1998.

4. Милованова Е. А. Дорога в XXI век / Сборник трудов ИЗТМ-96, Т.2.НТА «Актуальные проблемы фундаментальных наук» / Е. А. Милованова, А. А. Милованов, А. И. Милованов, А. В. Дмитренко – М.: М.:МГТУ им. Баумана, 1997.

5. Милованова Е. А. Поиск скорости и грузоподъемности на путях развития нетрадиционных транспортных систем в Сибири/ Материалы Межвузовской н.-тех. конф. ОмИИТ/ Е. А. Милованова, А. А. Милованов, А. И. Милованов – Омск: ОмГУПС, 1998. – 14 с.

6. Milovanova E.A., Milovanov A.A., Milovanov A.I./ The new vehicle of «Monolet»/ The third Russian-Korean International Symposium on Science, and Technology «Korus'99». – Novosibirsk, Russia. 1999, vol. 1. – 45 p.

7. Милованова Е. А. Взгляд на перспективы развития в Восточной Сибири нетрадиционных транспортных систем / Сборник материалов Байкальского экономического форума / Е. А. Милованова, А. А. Милованов, А. И. Милованов – Иркутск: МИНТРАНС РФ, 2000. – С. 166–173.

8. Милованова Е. А. Новая стратегия освоения транспортного пространства Сибири, Дальнего Востока и Севера страны / Труды междунар. форума по проблемам науки, техники и образования. АНЗ. «III ТЫСЯЧЕЛЕНИЕ – НОВЫЙ МИР» / Е. А. Милованова, А. А. Милованов, А. И. Милованов. – М.: Академия наук о Земле, 2009. – С. 11–13.

9. Милованова Е. А. Поиск новых путей развития / Е. А. Милованова, А. А. Милованов, А. И. Милованов //«Мир транспорта». – М.: МГУПС (МИИТ), 2009. № 4 (28), – С. 36–43.

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

References

1. Konovalov V. S., Korotkina T. V. & Rogozhina I. V. *Transport – Transport*, 1977, 420 p.

2. Chirkin V. V., Petrenko O. S., Mihailov A. S. & Golonen YU. I. *Mashinostroenie – Machinebuilding*, 1969, 280 p.

3. Milovanov A. I. Patent R.F. №2104891 Railway vehicle “Monojet”, 1998.

4. Milovanova E. A., Milovanov A. A., Milovanov A. I. & Dmitrenko A. V. *Doroga v XXI vek [The road in the XXI century]. Sbornik trudov IZTM-96, T.2. NTA «Aktual'nye problemy fundamental'nyh nauk» (A*

way to the 21st century “Actual problems of fundamental sciences”). Moscow, 1997.

5. Milovanova E. A., Milovanov A. A. & Milovanov A. I. Poisk skorosti i gruzopod'emnosti na putyakh razvitiya netradicionnyh transportnyh sistem v Sibiri [In search of speed and cargo capacity in conditions of alternative transport systems development in Siberia]. *Trudy mezhvuzovskoj nauchnoj konferencii Omskogo universiteta putej soobshcheniya* (Proceedings of inter-university scientific conference Omsk Transport University). Omsk, 1998, p. 14.

6. Milovanova E. A., Milovanov A. A. & Milovanov A. I. The new vehicle of “Monojet”. The third Russian-Korean International Symposium on Science and Technology “Korus’99”. Novosibirsk, 1999, vol. 1, p. 45.

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

8. Milovanova E. A., Milovanov A. A. & Milovanov A. I. Novaya strategiya osvoeniya transportnogo prostranstva Sibiri, Dal'nego Vostoka i Severa strany [New strategy of transport territory development in Siberia, Far East and the north of the country]. *Trudy mezhdunarodnogo foruma po problemam nauki, tekhniki i obrazovaniya "Tret'e tysyacheletie - novyj mir"* (Proceedings of international Forum on problems of science, engineering and education “The third millenium – new world”). Moscow, 2009, pp. 11-13.

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

10. Milovanova E. A., Milovanov A. A. & Milovanov A. I. V poiskah novyh putej razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v rossijskih bystryh Zaural'ya [In search of new ways of railway transport development in Russian fast Trans-Urals]. *Korejsko-Rossijskaya sovmestnaya konferenciya dlya evro-aziatskih zheleznodorozhnoj magistrali problemy i perspektivy* (Korea Russia joint conference for Euro-Asian trunk-railway problems and prospects). Seoul-Irkutsk, 2015, pp. 126-133.

Сведения об авторах:

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

МИЛОВАНОВ Алексей Алексеевич. Кандидат технических наук, доцент кафедры ТОЭ, Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)
E-mail: milovanov_aa@irgups.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:

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

MILOVANOV, Alexei A. - Ph.D.(Tech), associate professor of the department
TOE.Irkutsk State University of Railway Engineering (IrGUPS)
E-mail: milovanov_aa@irgups.ru

MILOVANOV, Alexei I. - 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 001.89: 004.9: 005

С. И. Неизвестный

Российский государственный социальный университет

О ПРИМЕНЕНИИ ТАКСОНОМИИ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Дата поступления 19.06.2015

Решение о публикации 03.07.2015

Дата публикации 28.03.2016

Аннотация: Во многих областях научного знания применение таксономии показало высокую эффективность в систематизации и упорядочении исходных данных, процессов их обработки, анализа и выводов, на основе которых строятся новые знания. Однако в области информационных технологий (ИТ) системного использования таксономии, за исключением некоторых фрагментарных случаев, не наблюдалось. В данной работе обращается внимание на научно-методологические возможности таксономии в ИТ, описаны основные подходы в применении таксономии в информационных технологиях, приводится пример дорожной карты применения таксономии в информационных технологиях крупного предприятия, описываются роль и функции таксономии в корпоративной системе управления проектами, даются таксономические метрики и индикаторы портфеля проектов.

Показано, что таксономия как один из основных инструментов саморегуляции, синергетики предприятия является важным инструментом повышения производительности и качества бизнес-процессов, развития организационного потенциала. Подчеркивается основополагающая роль таксономии в процессе целеполагания и систематизации целедостижения.

Ключевые слова: таксономия, упорядочение информационных ресурсов, систематизация научных данных, эффективность процессов информационных технологий.

Sergey Neizvestny

Russian State Social University

ON THE USE OF TAXONOMY IN THE FIELD OF INFORMATION TECHNOLOGY

Abstract: In many areas of scientific knowledge, the application of the taxonomy showed high efficiency in systematization and regularization of the initial data, processing, analysis and conclusions on the basis of which the construction of new knowledge. However, in the field of information technology (IT) system using the taxonomy, except for some fragmentary cases, weren't observed. In this paper is drawn attention to scientific and methodological possibilities of the taxonomy in IT, describes the main approaches in applying the taxonomy in information technology, provides an example of a road map for the

application of the taxonomy in information technology major companies, and also describes the role and functions of taxonomy in the corporate system of project management, given taxonomy metrics and indicators of the project portfolio.

It is shown that the taxonomy as one of the main tools of self-regulation, synergy enterprises is an important tool for improving productivity and quality of business processes, development of institutional capacity. Author emphasizes the fundamental role of taxonomy in the process of goal setting and systematization of objective fulfillment of projects.

Key words: taxonomy, organizing information resources, systematization of scientific data, efficiency of processes of information technology.

Введение

Таксономия - (от греч. taxis - строй, порядок, расположение по порядку и nomos - закон), теория классификации и систематизации сложноорганизованных областей действительности, имеющих обычно иерархическое строение (органический мир, объекты географии, геологии, языкознания, этнографии и т.д.). *Таксон* – группа объектов, предметов, объединяемых по каким-либо признакам, свойствам в одну категорию [1].

Понимая большой масштаб применения таксономии в информатике, мы отдаем себе отчет в том, что в рамках одной статьи невозможно охватить все аспекты, связанные с данной темой. Поэтому здесь мы вынуждены коснуться вопроса в основном тезисно, декларативно, преследуя цель статьи – обозначить важность использования таксономического подхода в информатике и более того, основное внимание мы направили на рассмотрение применения таксономии в процессах разработки и использования классификаторов информации и ближайших смежных с этим аспектов.

К сожалению, в доступной нам выборке литературы, печатной информации, мы не нашли описания системного применения таксономии в информатике.

Скудные упоминания использования таксономии носят, как правило, фрагментарный или случайный характер. Некоторые базовые элементы применения таксономических начал в управлении информационными ресурсами можно найти в работах [2–7]. Однако такие работы вряд ли можно отнести к целенаправленному, методическому исследованию применения таксономии в информатике. Значительно рафинированнее применение таксономических принципов иллюстрируется, например, в работах [8-12].

Посредством выделения метрик и индикаторов классификации информации таксономия выискивает общее, универсальное – зафиксировать закономерности в явлении (объекте таксономии). С другой

стороны, таксономия помогает максимально объективно и системно выделить особенности и специфично-парадоксальное в объекте. Т.е., по существу таксономия как основной инструмент *зоологического* метода познания, количественного системного накопления знаний, опыта, готовит базу для эффективного *эвристического* метода. Таксономия – один из базовых инструментов поставляющих парадоксы – источника эвристических открытий, получения принципиально новых знаний, нового опыта.

Прикладное применение таксономии в информатике, в информационных технологиях может найти принципиально новые технологии, управленческие приемы, виды ведения бизнеса предприятия.

1. Основные таксономические подходы в разработке классификационного конструктива

Метрики классификации могут конструироваться по разным признакам, например:

– *Многозначным* – метрика представляется несколькими дискретными признаками.

Примеры: правша – левша – амбидекстр, интроверт – экстраверт – гетероверт.

– *Вероятностным* – метрика представляется несколькими наборами вероятностных признаков, когда один может плавно перетекать в другой, а индикатору метрики соответствует величина вероятности того или иного признака; значение индикатора находится в диапазоне пересечения доверительных интервалов (областей толерантности) двух или более классификационных признаков метрики, задаваемых фильтром классификатора.

Пример: метрика компетенции: совершенный уровень – профессиональный – начальный – дилетантский, что ставится в следующее соответствие диапазонам компетенций: 100% – 95%; 97% - 80% , 80% - 50%, менее 50%.

– *Взаимоисключающим* – два взаимоисключающих признака. Этот принцип называют *дихотомическим*, а признаки в нем *бифуркационные* (либо одно, либо другое).

Примеры: практический – теоретический, принудительный – доверительный.

– *Взаимодополняющим* – два или более признака, без перекрытия значений (в отличие от *вероятностного* признака).

Пример: метрика *тип деятельности*: – производственная, – проектная.

2. Таксономия и ее применение в управлении предприятием и его итпроцессами

Применение таксономии в практике управления предприятием не сводится лишь к процедуре классификации элементов управления. В предприятиях зрелого уровня бизнеса таксономия привлекается для системной разработки и внедрения классификаторов и только после этого запускается собственно рабочий процесс классификации.

В качестве примера применения таксономии можно привести область менеджмента, связанную с формированием плана работ в ИТ деятельности предприятия. В современной технологии управления этот элемент управления называют СДР (структурная декомпозиция работ, в англоязычной литературе – Work Breakdown Structure, WBS). В профессиональных, зрелых Корпоративных системах управления проектами (КСУП) аббревиатуру СДР представляют двумя разными сущностями:

1. *Структура декомпозиции работ;*
2. *Структурная декомпозиция работ.*

Первая сущность является основным предметом применения таксономии, вторая – предметом применения процедуры классификации. Образно выражаясь: при классификации работ мы конструируем «шкаф с полочками», а затем заполняем «полочки» собственно работами. И прежде чем раскладывать работы, нужно знать: куда раскладывать и как. Очевидно, что приоритет в этих сущностях за таксономией: даже если мы составим полный исчерпывающий перечень работ, но разложим эти работы не по тем «полкам», общий результат выполнения всей совокупности работ будет несистемным, некачественным, а часто и вообще недостижимым.

Логико-хронологическое применение таксономии в ИТ может иметь следующее содержание:

- Системный обзор объекта таксономии на предмет выделения возможных метрик;
- Системный обзор объекта таксономии на предмет выделения значимых метрик (например, с точки зрения бизнес-целей);
- Определение значимых индикаторов метрик (например, цифровых значений);

- Проверка найденных метрик и их индикаторов на пробных массивах, пилотных выборках;
- Коррекция метрик и индикаторов по результатам пробного применения;
- Экстраполяция метрик и индикаторов на репрезентативную выборку (например, на полную выборку, генеральную совокупность);
- Создание таксономического шаблона, каркаса таксономической конструкции;
- Выявление требований к субъектам таксономии (например, к разработчикам процесса классификации, руководителю процесса, исполнителям);
- Разработка процесса классификации;
- Запуск, сопровождение, развитие процесса классификации.

Примером базовых принципов применения таксономии в управлении информационными технологиями могут быть следующие:

1. Применение таксономии к разработке классификаторов должно соответствовать конкретным целям и SMART-принципу.

2. Классификация должна проводиться с позиций системного подхода. Иерархическая структура классификаторов должна отражать системные взаимосвязи наблюдаемых явлений, в частности, в одну группу не должны непосредственно объединяться метрики разных уровней рассмотрения, т.е., нерядопологающие сущности. Таксономия должна использоваться с привлечением системообразующих характеристик объекта.

3. Таксономия должна учитывать степень объективности определения входных параметров объектов классификации, их точность и надежность определения.

4. Должна соблюдаться однозначность применения процедуры классификации ко всей выборке объектов классификации.

5. Основа значимости результатов работы классификатора – репрезентативность выборки объектов классификации.

6. Классификация должна предусматривать учет характеристик и особенностей субъектов таксономии: кто занимается и будет заниматься классификацией, кто руководит процессом классификации, какова степень субъективизма в этом процессе.

7. Конструктив классификатора обеспечивает максимальную эффективность (минимум затрат и максимум качества) с точки зрения достижения стратегической цели портфеля информационных ресурсов. Классификатор – это и анализатор, и систематизатор, и диспетчер, и фильтр объектов классификации.

3. Дорожная карта применения таксономии в информационных технологиях холдинга

Современная крупная организация, имеющая организационную структуру вертикально-интегрированного холдинга, обладает большим набором информационных ресурсов. Чем выше степень верифицированного учета, систематизации, ранжирования ИТ-ресурсов тем выше эффективность управления этими ресурсами, выше качество и производительность управления предприятия, надежнее информационная безопасность и безопасность предприятия в целом. Это может быть достигнуто при качественном системном подходе к перечню и последовательности действий по применению таксономии в ИТ предприятия.

Дорожная карта применения таксономии в ИТ холдинга на верхнем уровне выглядит следующим образом:

- Уточнение портфеля бизнес-процессов предприятия;
- Системное описание всех бизнес-процессов с определением требований необходимых информационных технологий, обеспечивающих эти процессы
- Таксономия ожиданий от ИТ со стороны стейк-холдеров холдинга;
- Составление перечня информационных ресурсов и сервисных ИТ-процессов;
- Таксономическое описание всех атрибутов ИТ-ресурсов (включая ИТ-объекты, субъекты, ИТ-процессы) принадлежности бизнес-процессам,
- Таксономия идентификаторов ИТ-ресурсов;
- Таксономия целей защиты информации;
- Таксономия аутентификации ИТ-ресурсов;
- Таксономия прав доступа к ИТ-ресурсам, таксономия средств авторизации;
- Таксономия элементов Единой Информационной Системы (ЕИС), в том числе ее составной части – Системы защиты информации;
- Масштабирование применения таксономии в ИТ на все предприятия и подразделения холдинга;
- Таксономия структур и процессов интеграции ЕИС;
- Таксономия элементов Системы сопровождения и развития ЕИС.

Ниже кратко рассмотрен пример разработки дорожной карты создания и/или модернизации Единой Информационной Системы предприятия при переходе от «текущего» к целевому состоянию.

Текущее состояние информационных систем предприятия (пример результата непонимания роли таксономии в решении проблемы создания ИС):

1. Отсутствует единое документационное и информационное пространство.
2. Отсутствует единая система контроля и учета.
3. Планирование затрат, поставок, услуг (подрядов) ведется в одних системах, контроль и учет ведется в других системах. Системы не стыкуются друг с другом.
4. Планирование закупок самих систем и их использование идет в значительной степени случайно, хаотично. Анализ выбора систем отсутствует.
5. Нет системы учета ИС.
6. В некоторых департаментах ИС политика формируется стихийно, самостоятельно, порождается независимый «зоопарк» ИС. Руководство Отдела ИС не знает о существовании отдельных ИС. В целом налицо процессы дезинтеграции.
7. Попытки прорисовать имеющуюся «структуру» ИС носят фрагментарный несистемный характер.
8. На закрытие потребности одних и тех же функций в разных подразделениях закупается несколько разнородных ИС.
9. Отсутствие сравнительного анализа в выборе ИС приводит к их значительной «текучести», пользователи не успевают осваивать новые системы, накапливается сопротивление внедрению новых систем, т.к. пользователи понимают, что средства на это тратятся неэффективно, проще не осваивать систему, а подождать, пока не пройдет указание о переходе на другую систему.

Применение таксономии для решения этой проблемы, выявляет наличие следующих составляющих процесса создания ЕИС в разных фазах ее жизненного цикла.

I. Предпроектный анализ:

1. Анализ миссии и основных бизнес-целей.
2. Декомпозиция бизнес-целей на функциональные задачи.
3. Декомпозиция функциональных задач на звенья.
4. Определение потребности в технологии делопроизводства, инструментарии, ИС от каждого звена до крупных функциональных задач и бизнес-целей.

5. Определение стратегии развития документооборота и развития информационного пространства.

II. Выбор (планирование) ИС:

1. Формирование единого подхода, единой стратегии, единой корпоративной ИС и Системы электронного документооборота (СЭД). Потенциальный уход от затрат на «изобретение велосипеда», размножение «зоопарка» отдельных ИС и СЭД. Минимизация затрат на процессы обмена и взаимодействия в делопроизводстве.

2. Проведение сравнительного анализа рынка предложений по сегментам функциональных ИС, ERP, MES, EPM систем. ERP – Enterprise Resource Planning, системы управления ресурсами предприятия (как правило, горизонтальные информационные системы верхнего уровня); MES – Manufacturing Executive System, исполнительные информационные системы предприятия (как правило, вертикальные информационные системы). ERP-стандарты включают следующие основные управленческие методики [14]:

- MRP (Material Requirement Planning) – планирование потребности в материалах;
- MRP II (Manufacturing Resource Planning) – планирование производственных ресурсов;
- ERP – планирование ресурсов предприятия;
- CSRP (Customer Synchronized Resource Planning) – планирование ресурсов в зависимости от потребностей клиента.

3. Обоснование выбора ИС, Единой информационной системы предприятия, СЭД.

III. Исполнение:

1. Разработка концепции и техно-рабочего проекта ЕИС.
2. Повторный контроль соответствия архитектуры ЕИС потребностям бизнес-процессов предприятия.
3. Внесение исправлений и дополнений в архитектуру ЕИС.
4. Утверждение концепции архитектуры с учетом потребности в развитии.
5. Утверждение техно-рабочего проекта.
6. Разработка план-графика реализации проекта, проектно-сметная документация; утверждение сводного плана проекта.
7. Реализация проекта.

IV. Завершение:

1. Пробная эксплуатация ЕИС, учет замечаний и пожеланий пользователей ЕИС.
2. Доработка ЕИС.
3. Ввод ЕИС в эксплуатацию, передача ЕИС группе эксплуатации, сопровождения и развития.
4. Эксплуатация ЕИС:
 - Комплекс профилактических мероприятий по поддержанию штатного режима работы ЕИС;
 - Реализация сервиса по предоставлению услуг бизнес-процессам и пользователям;
 - Реализация системы введения новых пользователей в работу с ЕИС;
 - Реализация системы самообучения;
 - Отчетность по функционированию и использованию системы, формирование банка знаний ЕИС;
 - Анализ работы и сбор информации для повышения эффективности ЕИС.
5. Развитие ЕИС.

4. Инструментальное приложение таксономии и ее связь с управлением информационными ресурсами предприятия

4.1. Таксономия как системообразующий инструмент КСУП предприятия

При системном подходе к управлению всеми ИТ-ресурсами предприятия, портфелем ИТ-ресурсов, таксономия проникает во все элементы процесса управления. Она же является одним из системообразующих составляющих КСУП.

Уже на этапе становления стратегических целей предприятия, при определении бизнес-целей должно привлекать таксономию. Естественно, что формирование продуктивной организационной структуры предприятия (ОСП), также базируется на применении таксономии, не говоря уже о проблемах инструментария КСУП и Единой информационной системы предприятия. Проиллюстрируем на примере связь таксономии с проблемой применения инструментов КСУП.

Мало кто из менеджеров в современной России знает, что практически во всех коробочных инструментах УП имеется параметр

приоритет задачи, а если они его и видели, то не совсем знают, как и зачем его можно использовать.

На масштабе применения Инструментальной системы управления ИТ-ресурсами к портфелю ИТ-ресурсов, используется метрика классификатора *приоритет ИТ-ресурса*.

Конкретное значение метрики называют индикатором. Например, метрика *приоритет ИТ-ресурса* может иметь пять значений: от высшего – *один*, до низшего – *пять*.

В зависимости от того, чему равен индикатор, в ИТ-ресурс выделяются соответствующим образом ресурсы. В частности, процедура выделения ресурсов в соответствии с его приоритетом, может регламентировать недоступность ресурсов процесса высокого приоритета для процессов более низкого. Доступ к ресурсам в процессах с равным приоритетом возможен только по согласованию с руководителями процессов и руководителем ресурсодержащего подразделения. Таким образом, если руководитель процесса «получил приоритет» процесса от руководства предприятия, например, *три*, может забрать ресурсы у процессов приоритетов *пять* и *четыре*, может использовать ресурсы процессов с приоритетом *три*, при использовании предписанной схемы согласования, но ему не доступны ресурсы, используемые процессами с приоритетом *два* и тем более *один*. Приоритет процесса устанавливается не руководителем процесса, но, как правило, генеральным директором предприятия. Именно руководитель предприятия устанавливает приоритет процесса, понимая какое место данный процесс занимает в функционировании предприятия в целом, какое финансово-экономическое, социальное, политической и пр. значения имеет он. Параметр *приоритет* процесса позволяет сконцентрировать ресурсы на стратегически важных для предприятия направлениях, позволяет не расплывать ограниченные средства. Т.е., этот параметр, может быть использован как рычаг реализации стратегического управления портфелем процессов. И рычаг этот находится в руках руководителя предприятия.

В практике профессионального менеджмента таксономия применяется как технология построения структур управления. В этой связи таксономия может делиться на прикладные разделы, например:

- Таксономия бизнес-процессов;
- Таксономия ОСП;
- Таксономия портфеля проектов;
- Таксономия в целеполагании;
- Таксономия качества;
- Таксономия проблем;

- Таксономия рисков;
- Таксономия в управлении изменениями;
- Таксономия контроля и отчетности;
- Таксономия психоанализа участников процесса;
- И др.

Следует отметить, что в реалиях процессного управления практически на всех предприятиях имеет место применения таксономических подходов. Но в большей части российских предприятий это применение имеет зачаточный вид, в другой части – носит фрагментарный характер. Причем фрагментарное использование таксономических инструментов может использоваться:

- частично в каком-то из перечисленных выше разделе;
- либо относительно полно в одном из разделов;
- либо относительно полно в нескольких разделах.

Но фактически системно, со 100% полнотой охвата, осознано и целенаправленно применение таксономии в практике современных российских предприятий, найти маловероятно. Однако применение таксономии в том и эффективно, если его применить не на части структур предприятия. Если ввести инъекцию в руку и при этом наложить (осознанно, а скорее не осознанно) жгут на эту руку, то разовьется гангрена, а руку, в конечном итоге, придется ампутировать. Именно такой процесс часто и наблюдается в практике российского бизнеса: спонтанные, а иногда и не совсем спонтанные, намерения применить системный, таксономический подход, либо «засыхали», либо «спускались на тормозах», либо превращались фактически в муляж.

4.2. Таксономия как стартовый инструмент процесса упорядочения и снижения хаоса

Одним из эффективных методов познания природы, изучения явлений и привлечение накопленных знаний на службу человеку была и есть таксономия. Картина мира не может быть представлена как черно-белая: мир наполнен оттенками серого, разнообразием цветов, полутонов и т.д. Мир в основе своей не может быть представлен как однозначно четкая, полностью детерминированная система. С другой стороны, психика человека имеет одно из фундаментальных свойств – стремление во всем к определенности. Неопределенность настораживает человека, формирует постоянную напряженность, вносит внутренний дискомфорт, пугает человека. Разумная, рациональная деятельность человека направлена на систематизацию имеющихся ресурсов, систематизацию получаемой информации, систематизацию знаний и опыта. Именно

посредством этого человек достигает одну из своих важнейших целей: энергетическую, пространственную, культурную, духовную экспансию: то, что обычно мы называем поступательное развитие. Эти особенности таксономии на масштабе отдельного проекта, портфеля проектов могут значительно снизить управленческий, методический, технологический хаос; увеличить эффективность, прибыльность предприятия. Но эта важная тема заслуживает детального отдельного рассмотрения и является предметом другой статьи.

4.3. Таксономия как мерило зрелости организации и бизнеса

Применение таксономии есть следствие становления зрелости. Успешное применение таксономии следствие высокого уровня зрелости, высокой организации мотивированности коллектива предприятия на достижение стратегических целей. Таксономия эффективна для изучения, анализа и управления сложными комплексными явлениями.

Применение таксономии расширяет общие способности сознательно направить управление на новые требования, способности приспособления к новым задачам и условиям жизни. Такая характеристика позволяет дифференцировать уровни зрелости бизнеса (бизнес-процесса) с высокой точностью, надежностью, управлять с большей эффективностью.

Применение таксономии позволяет сравнительно точно и надежно определять потенциал развития предприятия.

Важной характеристикой потенциала развития предприятия является возможность (способность) действовать в условиях неопределенности. Проектам, проектной деятельности, процессам непрерывного самосовершенствования присуща доля неопределенности, которая устраняется по мере их разработки, приводя к переопределению проблемы. Для зрелого бизнеса характерно также стремление докапываться до сути проблемы, выяснять истинные причины явлений и работать именно с ними, но не столько с их следствиями [10-12].

4.4. Таксономия – база для продвижения системного принципа в организации бизнеса

Таксономия - есть один из основных инструментов саморегуляции, синергетики предприятия, в организации обратной связи процесса управления. Таксономия – один из основных инструментов системного решения проблем. Она позволяет создать цельную, многостороннюю картину предмета исследования, проблемы, явления.

Таксономия позволяет реализовать базовый принцип системности: полноту охвата, и рассмотреть явление во всем его многообразии.

Таксономия вне системного принципа не эффективна. Ее применение оправдано только с использованием всего системного арсенала: и взаимной обусловленности всех элементов выборки приложения таксономии, и полнота охвата этих элементов, и целеполагание в создании таксономических конструкций, ведущих к обретению новых свойств результатов таксономического процесса, и иерархическое создание структур. Часто таксономия используется однобоко, и тогда результат ее неполноценен, а порой он дискредитирует самое ее применение. Так, например, рассматривая виды деятельности на предприятии, можно прийти к их классификации на два основных типа: *производственная* и *проектная*. И здесь многое зависит от последующего применения данной классификации. Если предприятие проектно-ориентировано, а в его делопроизводстве выстраивается паритет данных типов деятельности, то построить эффективную организационную структуру, например, *усиленную матричную*, вряд ли удастся. С другой стороны, даже если на предприятии осознается приоритетность проектной деятельности, но при этом в организации процессов *взаимодействия* (в других терминах – в *управлении коммуникациями*) доминантой являются *вертикальные* связи в ущерб *горизонтальным*, то и в этом случае применение таксономии не внесет положительного эффекта, а скорее всего – напротив. Таким образом, мы приходим еще к одному выводу: применение таксономии без использования иерархических принципов, без определения приоритетности в рядоположенных элементах, без системного построения собственно таксономии оценок результатов и анализа достижения целей ее применения – не эффективно.

4.5. Таксономия как инструмент повышения производительности труда и бизнес-процессов

Таксономия позволяет существенно повысить производительность познавательных технологий (таксономия баз знаний). Важнейшим индикатором зрелости предприятия, высокой производительности труда является интегральный уровень компетенций его сотрудников. (Собственно и самую суть *компетенция* применение таксономии переводит в более четкое и однозначное понимание: *компетенция* – это совокупность элементов *знаний, опыта и навыков*). Без систематизации знаний, опыта и навыков каждого сотрудника предприятия, без организации системы обмена, накопления опыта, знаний, навыков, принципиально невозможно профессиональное совершенствование,

непрерывное улучшение эффективности деятельности предприятия. В этой связи важную роль играет структуризация профессиональных знаний и компетентности сотрудников [13]. На предприятиях без системного, таксономического подхода в создании подобных систем, каждый сотрудник работает по сути индивидуально, его опыт, знания, навыки плохо передаются другим сотрудниками. Это значительно усложняет формирование продуктивной корпоративной культуры, благоприятной атмосферы работы, атмосферы взаимопомощи, взаимоподдержки, приводит к значительным объемам лишних действий, усилий, распылению ресурсов, снижает производительность труда, устойчивость и надежность работы бизнес-процессов. На предприятиях, где работает накопление, обмен и развитие Банка знаний, Системы внутреннего обучения повышается уровень управляемости ресурсами и организацией в целом, снижается зависимость от ключевых экспертных ресурсов при передаче знаний и компетенций новым сотрудникам и при расширении масштабов бизнеса, тиражировании собственных решений. Самым значимым в процессе повышения производительности труда является обеспечение непрерывного распространения в коллективе лучшего опыта, навыков, приемов и совершенных технологий, высокоэффективных видов сервисного обеспечения.

5. Примеры метрик и индикаторов таксономии

1. *Критерий классификации по важности*: влияет на уровень доступности ресурсов в проектах и методику их выделения. По сути – это приоритет проекта, устанавливаемый руководством. Является рычагом стратегического управления ресурсами, портфелем проектов;

2. *Критерий классификации по типу проекта*: влияет на выбор методики управления и шаблона проекта. В зависимости от типа проекта выбирается одна из шести методик реализации проекта и соответствующий шаблон;

3. *Критерий классификации по стоимости*: влияет на методику ведения проектов (защита финансовых меморандумов проекта и мониторинг затрат и инвестиционных показателей проекта, выделения и использования ресурсов);

4. *Критерий классификации по уровню участия*: влияет на перечень участников проекта, состав проектной команды, методику обмена информацией в проекте, степень ответственности и отчетности в проектах.

Таблица 1. Пример метрик и индикаторов классификатора проектов.

Таксономическая метрика (Критерий классификации)	Индикатор (значение метрики)					
	А	В	С	Д	Е	Ф
По важности (для достижения бизнес-целей)	Приоритетный	Важный	Повседневный			
Тип проекта	Тип бизнеса 1	Тип бизнеса 2	Тип бизнеса 3	Тип бизнеса 4	Тип бизнеса 5	Проекты развития
По стоимости	Очень крупный (более \$5000000)	Крупный (от \$2000000 до \$5000000)	Средний (от \$1000000 до \$2000000)	Малый (от \$ 50000 до \$1000000)	Локальный (до \$50000)	
По уровню участия	Корпоративный (в рамках холдинга)	Масштабный (в рамках группы предприятий)	Комплексный (в рамках предприятия)	Монопроект (в рамках одного подразделения предприятия)		

1. Содержание критериев важности:

– *приоритетный* – проект, направленный на реализацию значимых стратегических бизнес-целей, в проектной деятельности выполняется в первую очередь, на него выделяются все необходимые ресурсы;

- *важный* – проект, имеющий опосредованное влияние на достижение бизнес-целей предприятия;
- *повседневный* – проект, выполняемый в рамках стандартных инициатив подразделений масштаба предприятия (как правило, носит характер фоновой деятельности).

2, 3 – содержание критериев по типу проекта и по стоимости очевидно из Таблицы.

4. Содержание критериев уровня участия:

- *корпоративный* – проект, в котором задействованы сотрудники всех структурных подразделений предприятия и заинтересованные подразделения холдинга или иных предприятий входящих в холдинг;
- *масштабный* – проект, в котором задействованы сотрудники всех структурных подразделений предприятия и группы предприятий холдинга;
- *комплексный* – проект, в котором задействованы сотрудники нескольких структурных подразделений предприятия;
- *монопроект* – в рамках одного подразделения предприятия.

При составлении классификатора проектов не следует поддаваться соблазну охватить как можно больше критериев оценки. Технология составления классификатора может быть следующей:

- Составление полного перечня метрик проектов (с анализом полноты своими специалистами и/или привлечением профильных экспертов);
- Оценка степени влияния метрики на проект, портфель проектов, бизнес-цель предприятия;
- Приведение оценки влияния в одну метрику (например, в ROI предприятия);
- Ранжирование метрик в единой шкале оценки;
- Отбор 4-5 самых значимых метрик;
- Повторный анализ достаточности выбранных метрик с проекцией их на портфель проектов и, при необходимости, коррекция состава выбранных критериев.

Так, например, в проблеме конструирования классификатора проектов, многие разработчики имеют дело с рассмотрением метрики *длительность проекта*. Без применения таксономических принципов результат данной работы будет перегружать конструктив классификатора.

Если же системно применить таксономию, то можно обоснованно упростить классификатор. С системной точки зрения данная частная работа начинается с составления полной выборки всех проектов предприятия: и тех, что выполняются, и тех, что выполнены, и тех, что планируются в будущем согласно плану развития предприятия. Затем проводится частотный анализ проектов по параметру *длительность*; исследуется распределение проектов по длительности на предмет выявления сгруппированности (кластерный анализ) и проводится сопоставление результатов этого анализа с практикой деления проектов по длительности и опытом ведущих специалистов предприятия в этой области. Предположим, что в результате этого анализа мы пришли к выводу, что обоснованно делить проекты по длительности на три группы:

1. *Краткосрочные*: проекты с длительностью менее 2-х месяцев;
2. *Среднесрочные*: от 2-х до 24 месяцев;
3. *Долгосрочные*: более 2-х лет.

Далее создаем выборку сущностей проектов, на которые это деление значительно влияет. Предположим, что самая значимая сущность в нашем случае – это организация обратной связи, периодичность отчетности в жизненном цикле проекта. Опыт многих успешно работающих предприятий показывает, что наиболее эффективной периодичностью предоставления отчетности для *среднесрочных* проектов является *еженедельная* отчетность. Отчетность в *краткосрочных* проектах может организовываться как *ежедневная*, а отчетность в *долгосрочных* проектах – *ежемесячная*. С другой стороны, анализ объема выборки краткосрочных проектов показывает, что, во-первых, этих проектов на предприятии, как правило, менее 5%, во-вторых, их приоритет обычно низкий. Последнее обстоятельство показывает, что ни один руководитель предприятия не будет требовать *ежедневной* отчетности по малоприморитетному 2-х месячному проекту: в данном случае здравый смысл и параметры делопроизводства диктуют, что достаточно использовать отчетность по этим проектам раз в неделю. Анализ выборки долгосрочных проектов показывает, что несмотря на относительно небольшое их количество в портфеле проектов предприятия, они, как правило, имеют очень высокий приоритет. По таким проектам руководство, подчеркивая их важность для предприятия, требует не *ежемесячной* отчетности, но *еженедельной*. Таким образом, мы приходим к выводу: на данном предприятии все процедуры отчетности по проектам сводятся к *еженедельной*. В целом проведенный анализ приводит нас к выводу: в классификаторе проектов данного предприятия метрика *длительность* не нужна.

В проблеме оптимизации классификатора (нахождении оптимального количества и качества метрик) всегда присутствует

дилемма: полнота и простота. Чем меньше метрик в классификаторе, тем проще и прозрачнее выстраивается процесс классификации.

Тяжело управлять автомобилем с пятнадцатью педалями управления.

6. Пример применения таксономии для создания фильтра идей проектов

Важной составляющей жизненного цикла проекта является процесс работы с идеями проектов, который является стартовым элементом фазы «Инициация». Касательно портфеля проектов предприятия процесс работы с идеями проектов является ярким показателем присутствия стратегического управления портфелем проектов и предприятием в целом.

Основные задачи применения таксономии в процессе работы с идеями:

1. Проведение системного, полного сбора идей, их учета и хранения;
2. Создание конструктива метрик идей;
3. Разработка технологии оценки, технологии измерения индикаторов идей;
4. Разработка инструмента системного анализа идей;
5. Разработка эффективной процедуры технико-экономического обоснования (ТЭО) проекта;
6. Разработка конструктива критических значений индикаторов идей (механика и каркас фильтра идей);
7. Разработка процедуры сопоставления входных индикаторов проекта с параметрами фильтра (процедуры объективной фильтрации, сопоставления входных параметров идеи с установленными параметрами фильтра);
8. Создание инструмента принятия решения:
 - убрать идею как в принципе не состоятельную (поместить в соответствующий раздел архива идей),
 - отложить идею как несвоевременную,
 - пересмотреть-уточнить параметры идеи и обстоятельства ее реализации,
 - выполнить (перевести в русло активизации инициирования проекта);
9. Разработка процедуры диспетчеризации архива идей;
10. Разработка процедуры реинжиниринга и совершенствования процесса работы с идеями;
11. Перевод идеи в состояние проекта.

Собственно фаза «Инициации» проекта и заканчивается принятием решения о целесообразности начала проекта, и базовым инструментом для такого объективного решения может быть таксономия.

Классификатор идей – может строиться, например, на таких метриках:

- Источник идеи (профессиональность, надежность, авторитетность);
- Крупномасштабный уровень (межгосударственный, государственный, отраслевой, и т.д.);
- Характеристики объекта (сложность, системность, одно- или многофункциональность);
- Тип объекта: полностью уникальный объект, инновационно-ориентированный, систематический (типичный, рядовой, стандартный);
- Связь с другими объектами (связан/ не связан с другими идеями, связан/ не связан с проектом портфеля, связан/ не связан с существующими бизнес-процессами предприятия);
- Отношение объекта к субъекту – внешний, внутренний, смешанный (внешний и внутренний);
- Структура объекта: комплексный, индивидуальный (перейдет в программу проектов, в мультипроект, в монопроект);
- Расчетная величина трудозатрат и затрат других ресурсов;
- Расчетная величина прибыльности реализации;
- Расчетная величина рисков, связанных с объектом, субъектами и процессом реализации идеи;
- Зависимость от степени влияния внешнего окружения (окружающее предприятие);
- Морально-этические характеристики (требуется привлечения белых, серых или черных схем реализации, диктуемых окружением проекта);
- Др.

Очевидно, что несистемный подход в работе с идеями, необъективный, необоснованный запуск отдельных ИТ-проектов, процессов часто приводит к остановке проекта, его ликвидации или убыточном завершении, к утрате дорогостоящих ресурсов, к снижению ROI предприятия, к деградации корпоративной культуры, имиджа предприятия в целом.

Заключение

Таксономия в информатике применяется спорадически, бессистемно. Одним из фрагментарных применений таксономии в информатике можно считать разработку классов защищенности информации. В системе образования, преподавания информатики появляются примеры утилитарного применения таксономии для классификации целей обучения [15]. Что же касается применения таксономии в собственно предметной части информатики, исследований процессов получения, сбора, обработки, анализа, упаковки хранения, извлечения из хранилищ и др., то оно в системном виде отсутствует.

В то же время таксономия показала свою эффективность в других областях знаний как инструмент создания научной базы при системном формировании и обработке входной информации, анализе ее источников, достоверности, надежности, определения как общих, так и специальных свойств массивов данных. Анализ этих свойств, полученных с применением таксономии, является одним из основных поставщиков научных парадоксов, движущих развитие науки и получения новых, эвристических знаний.

Применение таксономии в информационных технологиях, в управлении предприятием позволяет минимизировать хаос процесса управления, позволяет не делать «лишних движений», не распылять ресурсы, а осознанно, системно идти на пути достижения общей, интегральной цели, реализуя стратегические намерения управления.

Если в фундаменте управления предприятием будут отсутствовать на системной основе разработанные и внедренные механизмы и правила анализа, диспетчеризации, классификации и распределения ресурсов, объектов, субъектов и процесса управления,

то говорить о высокоэффективном зрелом менеджменте, да и бизнесе в целом на данном предприятии не приходится. Значительные сложности применения таксономии в информационных технологиях связаны не с неспособностью классифицировать имеющиеся на предприятии элементы бизнеса, классифицировать имеющиеся компетенции, но с неспособностью классифицировать некомпетентности. Как это ни парадоксально может звучать, классификация незнания – вот одна из проблем современного управления предприятием. И эту проблему можно решить, отойдя от традиционных принципов методических разработок, базирующихся на *конкуренции*; если, в конце концов, методические ресурсы осознают силу и преимущества *сотрудничества*, пойдут на объединение усилий, накопленного опыта и знаний.

Недооценка значимости применения таксономии в информационных технологиях, в методологии управления ИТ-ресурсами снижает возможности системного, структурированного построения высокоэффективных конструкций управления предприятием, реализующим свою миссию и стратегические цели.

Библиографический список

1. Большой толковый словарь русского языка. Институт лингвистических исследований РАН, Сост. и гл. ред. С. А. Кузнецов. СПб.: НОРИНТ, 1998 – 1536 с.
2. Pugh D. S., Hickson D. J., Hinnings C. R. An Ampirical Taxonomy of Srnictures of Work Organizations. // Administrative Science Quarterly, 1969, pp. 115-126.
3. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара - Москва: Мир, 1973.- 342 с.
4. Богданов А. А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х книгах: Кн.1\2. - Москва: Экономика, 1989.- С. 304-351.
5. Щедровицкий Г. П. Исходные представления и категориальные средства теории деятельности. В кн. Избранные труды. - Москва: Школа культурной политики, 1995. С. 233-280.
6. Радченко Я. Классификация видов управления. / Проблемы Теории и Практики Управления, 2000, N 1, С. 46-56.
7. Lambe, P. 2007 Organising knowledge: Taxonomies, knowledge and organisational effectiveness. Oxford: Chandos, 2007, P. 27. // [Электронный ресурс] <http://www.organisingknowledge.com/> Дата обращения: 10.05.2015.
8. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide). ANSI/PMI-99-001-2004 - PMI, 2004 ed. 437 p.
9. Неизвестный С. И. Управление проектами: хаос и самодетерминизм. СЮ, Директор информационной службы, № 1, 2004, С.68-74.
10. Зуева А. Г., Неизвестный С. И. О применении таксономии в проектном управлении. Управление проектами и программами, №2, 2009, С.94-105.
11. Клименко Э. Ю., Неизвестный С. И. Классификатор проектов, таксономия индикаторов. Управление проектами, № 2, 2011, С.38-45.
12. Клименко Э. Ю., Неизвестный С. И. Таксономия как инструмент стратегии. Мир транспорта, №2, 2012, С.34-43.
13. ICB - IPMA Competence Baseline. Version 3.0. IPMA Editorial Committee: Caupin G., Knopfel H., Morris P., Pannenbacker K., Perez-Polo

F., Seabury C. – IPMA, NL-3860 BD Nijkerk, The Netherlands, 2006. – pp.200.

14. APICS Dictionary, 7-th ed. American Production and Inventory Control Society, Inc., Falls Church, VA, 1992.

15. Абрамян Г. В., Катасонова Г. Р. Таксономия, классификация и методология анализа целей обучения информатике и информационным технологиям в условиях глобализации образования. *Фундаментальные исследования*, 2014, № 8-7. С. 1647-1654.

References

1. The big explanatory dictionary of Russian language. Institute for linguistic studies, Russian Academy of Sciences., St. Petersburg, 1998, 1536 p.

2. Pugh D. S., Hickson D. J. & Hinnings C. R. *Administrative Science Quarterly*, 1969, pp. 115-126.

3. Mesarovich M., Mako D. & Takahara I. *Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevnyh sistem* [Theory of hierarchical multilevel systems]. Moscow, 1973. 342 p.

4. Bogdanov A. A. *Tektologiya: Vseobshchaya organizacionnaya nauka* [Tectology: universal organizational science]. Moscow, 1989, pp. 304-351.

5. Shchedrovitsky G. P. *Izbrannye trudy* [Selected works]. Moscow, 1995, pp. 233-280.

6. Radchenko I. *Problemy Teorii i Praktiki Upravleniya - Problems of Theory and Management Practice*, 2000, no. 1, pp. 46-56.

7. Lambe P. *Organising knowledge: Taxonomies, knowledge and organisational effectiveness*. Oxford: Chandos, 2007, 27 p.

URL: <http://www.organisingknowledge.com/> (10/05/2015).

8. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide). ANSI/PMI-99-001-2004 - PMI, 2004 ed. 437 p.

9. Neizvestny S. I. *CIO, Direktor informacionnoj sluzhby - CIO, Chief Information Officer*, 2004, no. 1, pp. 68-74.

10. Zueva A. G. & Neizvestny S. I. *Upravlenie proektami i programmami - Management of projects and programmes*, 2009, no. 2, pp. 94-105.

11. Klimenko E. Yu. & Neizvestny S. I. *Upravlenie proektami - Project management*, no. 2, 2011, pp. 38-45.

12. Klimenko E. Yu. & Neizvestny S. I. *Mir transporta - World transport*, 2012, no. 2, pp. 34-43.

13. ICB - IPMA Competence Baseline. Version 3.0. IPMA Editorial Committee: G. Caupin, H. Knopfel, P. Morris, Pannenbacker K., Parez-Polo F. & C. Seabury – IPMA, NL-3860 BD Nijkerk, The Netherlands, 2006, pp.200.

14. APICS Dictionary, 7-th ed. American Production and Inventory Control Society, Inc., Falls Church, VA, 1992.

15. Abrahamian H. V. & Katasonova G. R. *Fundamental'nye issledovaniya - Fundamental research*, 2014, no. 8-7, pp. 1647-1654.

Сведения об авторе:

НЕИЗВЕСТНЫЙ Сергей Иванович - д.т.н, профессор Российского Государственного Социального Университета, 8-903-7428604

E-mail: sergey@neizvestny.com

Information about author:

NEIZVESTNIY Sergei Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the Russian State Social University, 8-903-7428604

E-mail: sergey@neizvestny.com

Г. Н. Талашкин, В. Е. Красковский, В. Н. Смирнов, И. О. Потапова
Союз строителей железных дорог
ЗАО «ЛенГипрострой»
Санкт-Петербургский Университет Путей Сообщения
Императора Александра I

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ, С ЧЕГО НАЧАТЬ?

Дата поступления 05.07.2015

Решение о публикации 05.12.2015

Дата публикации 28.03.2016

Аннотация: Статья посвящена вопросам проектирования дорог с обращением подвижного состава на магнитном подвесе. Отмечено отсутствие в России необходимой нормативной базы для строительства дорог с использованием магнитного подвеса, перечислены основные проблемные вопросы, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией всей инфраструктуры и, в первую очередь, её основных элементов, обеспечивающих технологический процесс перевозки пассажиров или контейнеров. Приведены основные направления и задачи по созданию этой нормативной базы. Представлен краткий анализ зарубежного опыта проектирования и строительства дорог с использованием магнитолевитационной технологии. Освящены направления отечественного проектирования линий в этой области, уделено внимание ведущейся работе по выше обозначенным вопросам. Указана значимость работы над проектированием подвижного состава для магнитолевитационного движения, в частности, необходимость создания специального, более легкого по сравнению с обычной платформой, шасси, и пересмотра традиционных схем опирания и крепления контейнеров в связи с нагрузками, возникающими при высокоскоростном движении поезда «Маглев».

Отмечена необходимость разработки пакета специальных технических условий (СТУ) и регламентов, которые в совокупности составят нормативную базу, необходимую для проектирования инфраструктуры.

Уделено внимание обоснованию выбора дороги с магнитолевитационной технологией среди других возможных вариантов. Сформулирована общая последовательность проектирования и строительства «пилотного» объекта и опытного участка для проведения экспериментальных работ. Перечислены ключевые моменты, которые можно взять за основу для разработки алгоритма действий в этом направлении. Освящен вопрос конструкции специального полигона, на котором можно было бы решить все поставленные задачи.

Ключевые слова: Проектирование дорог с магнитным подвесом, нормативная база, строительство «пилотного» объекта.

G. N. Talashkin , V. E. Kraskovskiy , V. N. Smirnov, I. O. Potapova

Union of Builders of the Railroads

CJSC "LenGiprostroy"

Petersburg State Transport University

**DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF ROADS WITH USE OF
A MAGNETIC LEVITATION. WITH WHAT TO BEGIN?**

Abstract: The Article is devoted to the issues of road design with the appeal of rolling stock to magnetic levitation. Lack in Russia of necessary regulatory base for a construction of roads with use of a magnetic suspension is noted, the main problematic issues connected with design, construction and operation of all infrastructure and, first of all, its basic elements providing technological process of transportation of passengers or containers are listed. The main directions and tasks of creation of this regulatory base are given. The short analysis of foreign experience of design and construction of roads with use of magnetic levitation technology is submitted. The direction of domestic design of lines in this area are considered, attention is paid to the work in progress on all of these issues. Specified the significance of the work on the design of rolling stock for magnetic levitation movement, in particular, the need to create a special, more light in comparison with conventional platform, chassis, and revising the traditional schemes of the support and fixing of containers due to loads imposed by high-speed train "Maglev".

Noted the need to develop special technical conditions and rules, which together constitute the legal framework required for infrastructure design.

The attention is paid to justification of the choice of the road with magnetic levitation technology among other possible options. The general sequence of design and building of "pilot" object and a test site for carrying out experimental works is formulated. The key moments which can be taken as a basis for development of algorithm of actions in this direction are listed. The question of a design of the test site on which it would be possible to solve all objectives is considered.

Keywords: Design of roads with a magnetic suspension, regulatory base, building of "pilot" object.

Введение

Первые успехи в проведении натуральных экспериментальных работ по магнитной левитации грузовой платформы с нагрузкой от стандартного 40-футового морского контейнера [1], достигнутые в последние месяцы, подтверждают реальность замыслов, связанных с использованием магнитной левитации на отечественных дорогах. Поэтому вопросы проектирования, строительства и эксплуатации таких дорог становятся всё более актуальными.

Очевидно также и другое. Чтобы такой вид транспорта из эксперимента вышел на стадию строительства и эксплуатации, нужны усилия по многим направлениям. В целом на сегодня сложилась такая картина. В России дороги с использованием магнитной левитации

(сокращенно – дорог «Маглев») отсутствуют. В мировой практике такие дороги есть, причем как эксплуатируемые, так и опытные, в виде отдельных экспериментальных участков. Однако все эти дороги, за исключением одной (в США), предназначены исключительно для пассажирских перевозок. По сообщениям в различных СМИ мы знаем, что ОАО «РЖД» совместно Госкорпорацией «Росатом» приступило в 2014 г. к разработке магнитолевитационного транспорта применительно к двум видам перевозок: пассажирских и грузовых.

На данный момент одной из главных задач для внедрения нового вида транспорта является строительство «пилотного» объекта. В частности, имеются предложения по строительству «контейнерного моста» с использованием грузового «Маглева» между портом Усть-Луга и станцией Белый Раст на Большом кольце Московской железной дороги [2, 3], а также между терминалом Бронка и Гатчиной в Ленинградской области для перевозки стандартных морских контейнеров. По оценкам специалистов эти идеи имеют экономическое обоснование и вполне могут составить конкуренцию традиционным видам транспорта – железной и автомобильной дорогам. Есть и другие интересные предложения, связанные с пассажирскими перевозками. В частности, почему бы не построить линию «Маглев» в Санкт-Петербурге, например, между аэропортом Пулково и Балтийским либо Варшавским вокзалом, с устройством второго выхода из станции метро «Балтийская»? По аналогии с линией Шанхай – аэропорт Пудонг. Конечные станции метро «Проспект Ветеранов» и «Купчино», к сожалению, и так перегружены.

Чтобы построить такую дорогу и окупить финансовые затраты, требуется решение ряда проблемных вопросов, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией всей инфраструктуры и, в первую очередь, её основных элементов, обеспечивающих технологический процесс перевозки пассажиров или контейнеров:

- подвижного состава, в том числе его магнитолевитационной части,
- земляного полотна и верхнего строения пути с «активной путевой структурой», обеспечивающей магнитную левитацию и передвижение подвижного состава,
- искусственных сооружений (мостов, путепроводов, эстакад и т. д.),
- инженерных коммуникаций и оборудования (энергоснабжения и др.),
- зданий и сооружений, обеспечивающих эксплуатацию.

Как эти элементы увязать между собой? Прежде всего, нужны технологические решения, которых на сегодня пока нет. Как будем «возить» контейнеры? Поодиночке или сцепками, то есть поездами? Априори для нас более привычен и предпочтителен второй вариант –

поездами. Тогда надо думать: как создать такой поезд, как производить погрузку-выгрузку контейнеров, сколько потребуется приёмо-отправочных, погрузо-разгрузочных и др. путей? Можно упомянуть также и проблему кадрового обеспечения. Где взять подготовленный персонал? Но это, бесспорно, – отдельные темы для обсуждения.

В России пока отсутствует нормативная база для проектирования магнитолевитационного транспорта. Нет никаких сводов правил, санитарных норм, стандартов, регламентов и т. п. Нет ни одного сертифицированного изделия. Создание такой базы должно стать одной из первоочередных задач. Без её решения «Маглев» дальше экспериментов, при всём желании, продвигаться не будет. Очевидны вопросы – как и какими методами будем создавать нормативную базу?

Для решения задач, связанных с проектированием дорог «Маглев» необходимо разработать пакет специальных технических условий. Этот пакет, на наш взгляд, должен включать как минимум семь основных документов:

- «Подвижной состав»;
- «Трассирование дорог (план, продольный профиль, отдельные пункты»;
- «Несущие конструкции (верхнее строение пути, земляное полотно)»;
- «Несущие конструкции (искусственные сооружения)»;
- «Инженерное обеспечение (сети и оборудование энергоснабжения, связи, СЦБ, диспетчеризации и др.)»;
- «Здания и сооружения»;
- «Требования экологической, промышленной и пожарной безопасности».

Важнейшими исходными данными для разработки этих документов являются:

- длина, габариты, масса и скоростной режим подвижного состава;
- плано-высотное положение центров тяжести подвижного состава и грузов;
- габариты приближения строений;
- провозная способность дороги, энергопотребление и др. необходимые ресурсы;
- нормативные нагрузки и воздействия, в том числе аэродинамические;
- требования к применяемым материалам.

Для строительства и эксплуатации дорог «Маглев» необходимо разработать тоже как минимум семь документов:

- «Правила производства и приемки работ по строительству дорог «Маглев», в том числе:
 - ✓ Верхнее строение пути, земляное полотно;
 - ✓ Искусственные сооружения;
 - ✓ Инженерное обеспечение;

- «Подвижной состав дорог «Маглев». Правила эксплуатации, обслуживания и ремонта»;

- «Регламент коммерческой работы на дорогах «Маглев»;

- «Организация движения на дорогах «Маглев»;

- «Правила технической эксплуатации дорог «Маглев».

Строят объекты снизу вверх, а проектируют, как правило, наоборот – сверху вниз. Сверху в конструкции дороги мы имеем «активную путевую структуру» – магнитолевитационную часть верхнего строения пути. То, что шасси с груженным контейнером способно левитировать и передвигаться вдоль пути, уже ни у кого сомнений не вызывает. Над устройством магнитолевитационной части продолжается интенсивная работа. И мы ожидаем в ближайшем будущем ещё одного прорыва, связанного с определением рекомендуемых параметров этой части, которые дадут возможность приступить к проектированию подвижного состава и самой дороги.

Очевидно, что отправной точкой является подвижной состав. И именно с его проектирования и апробации надо начинать. Очень важно как можно быстрее определиться с габаритами подвижного состава и приближения строений, нормативными нагрузками и воздействиями. Важно понимать, хотя бы в первом приближении, каким же будет подвижной состав. Какое количество контейнеров целесообразно перевозить одним поездом? С какими скоростями будет перемещаться подвижной состав? От длины, массы и скоростного режима движения поезда, плано-высотного положения центров тяжести его конструктивных элементов и грузов во многом зависит проектирование всех элементов дороги, в первую очередь - верхнего строения пути, земляного полотна и искусственных сооружений.

Если в качестве нормативной временной вертикальной нагрузки от подвижного состава мы примем некоторое количество соединенных между собой шасси, на каждом из которых будет находиться по одному 40-футовому морскому контейнеру, то мы получим в целом незначительную нагрузку, значительно меньшую по сравнению с грузовыми и пассажирскими поездами на обычных и высокоскоростных железных дорогах. И даже если учесть возможность применения 45-футовых контейнеров, это практически не меняет её величину. Главный параметр – максимальная масса контейнера брутто – не превышает 35 т. Длина 40-футового контейнера – 12,19 м, 45-футового – 13,71 м, разница в длине незначительна. Такие параметры нагрузки от подвижного состава открывают новые перспективы для существенного снижения затрат на земляное полотно и искусственные сооружения и, в конечном итоге, стоимости всей дороги. И это надо эффективно использовать!

Вопрос, требующий всестороннего и первоочередного исследования – шасси под контейнером. В эксперименте на Александровском заводе [1] в качестве шасси под контейнером использовалась обычная железнодорожная грузовая платформа модели 13-401 массой 11,3 т, без тележек и надрессорных балок (рис. 1). Нагрузка от собственного веса платформы составила примерно 1 тс на 1 погонный метр длины контейнера, что вряд ли можно признать приемлемым. Использование платформы определило и высокое расположение общего центра тяжести платформы с контейнером. Понятно, что такое решение было принято с целью упрощения экспериментальной установки и вполне оправданно. Возникает необходимость создания специального, более легкого по сравнению с обычной платформой, шасси.



Рис. 1. Железнодорожная грузовая платформа модели 13-401, использованная в эксперименте на Александровском заводе в качестве шасси под контейнером

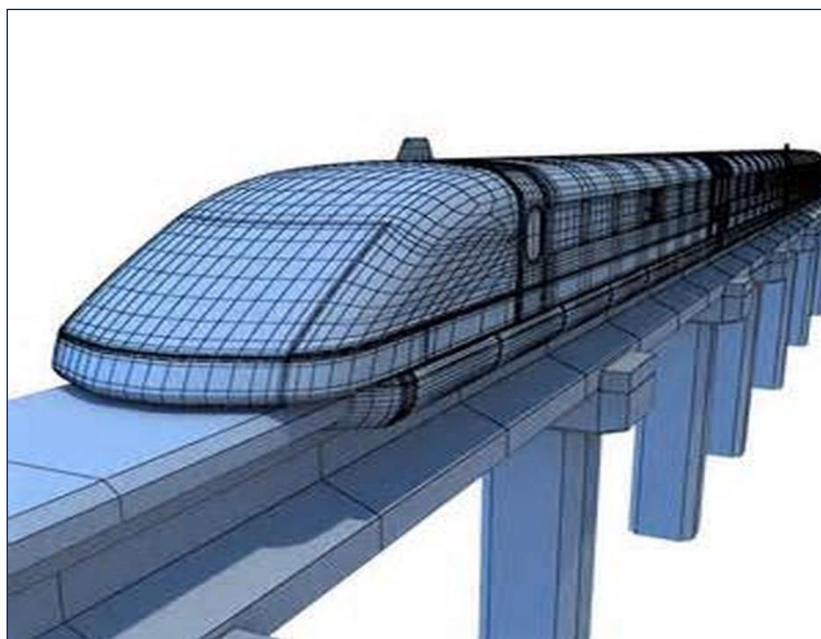


Рис. 2. Обтекаемая форма подвижного состава для перевозки контейнеров с большими скоростями.

К разработке специального шасси целесообразно привлечь ученых и специалистов по подвижному составу.

Каким образом контейнер будет установлен и закреплен на шасси подвижного состава? Как известно, контейнеры перевозятся по автомобильным и железным дорогам и складываются на площадках с опиранием по концам, на 4 угловых фитинга. Нагрузки от тары и перевозимого груза воспринимают и передают на угловые фитинги контейнера продольные и поперечные балки днища. Но выдержат ли эти элементы дополнительные нагрузки, связанные с инерционными силами, возникающими при движении поезда «Маглев» со скоростями, существенно превышающими 90 км/ч – пока не известно. Не исключено, что традиционные схемы опирания и крепления контейнеров придется пересмотреть.

Необходимо также изучить вибрационное воздействие от шасси на контейнер и грузы. Отдельное внимание должно быть уделено аэродинамике поезда, изучению сил сопротивления воздушной среды, в частности влиянию на их величину обтекаемости головного и хвостового «вагонов», «межвагонного» пространства, скорости движения. Вероятнее всего, для перевозки контейнеров с большими скоростями потребуется закрытие контейнеров специальными экранами, оболочками и т. п. с целью уменьшения сил сопротивления движению за счет улучшения аэродинамических характеристик поезда (рис. 2).

Несмотря на то, что проектирование основных конструктивных элементов дороги «Маглев» во многом зависит от решения вопросов с

подвижным составом и магнитолевитационной части, уже сегодня можно начинать процесс разработки пакета специальных технических условий (СТУ) и регламентов, которые в совокупности составят нормативную базу, необходимую для проектирования инфраструктуры. То есть в целом работа по созданию такой базы должна вестись комбинированным методом: по одним вопросам – последовательно, по другим – параллельно.

Ничего не мешает изучать и оценивать мировой и отечественный опыт, находить примеры решения отдельных вопросов проектирования, строительства и эксплуатации дорог «Маглев», брать всё лучшее, отсеивая неприемлемые ли неудачные решения, и на этой основе подходить к обоснованию требований СТУ к будущим проектным решениям (технологическим, конструктивным и др.).

Лабораторией «Инфраструктура магнитолевитационного транспорта», организованной в 2014 году на базе НОЦ ПП ПГУПС, такая работа уже начата. При этом наибольшие усилия направлены на изучение одной из важнейших составляющих инфраструктуры дорог «Маглев» – искусственных сооружений. Это вызвано тем, что в современных условиях проектировать дороги традиционным способом – на земляном полотне и только с мостами через водные преграды – экономически не всегда оправданно, замена отдельных участков (иногда – и всех) насыпей на эстакады может дать немалый экономический эффект [4-6]. Но и другие элементы инфраструктуры также не оставлены без внимания.

В ходе работы изучаются различные публикации, материалы железнодорожных и других компаний, занимающихся строительством подобных дорог, доклады, фотоматериалы и презентации отдельных авторов [3, 8-10]. Наибольший интерес для нас представляют следующие дороги «Маглев»:

- тестовый трек «Transrapid» в Эмсланде (Германия, 1984-2012 гг.) длиной 31,5 км;
- нескоростная линия в аэропорту Бирмингема (Англия, 1984-1995 гг.) длиной 0,6 км;
- экспериментальный полигон «General Atomics» в Калифорнии (США, 1995 г.), длиной 1,5 км, для перевозки морских контейнеров;
- первая в мире скоростная коммерческая линия Шанхай – аэропорт Пудунг (КНР, эксплуатируется с 2004 г.), длина – 30,5 км;
- «Linimo» – первая городская (нескоростная) коммерческая линия, построенная в г. Нагоя (Япония, 2005 г.), длиной 9,0 км;
- нескоростная линия в аэропорту Инчхон (Южная Корея, 2013 г.) длиной 6,1 км;
- «Тюо-синкансэн» – строящаяся скоростная линия между японскими городами Токио и Нагоя (длина – 286 км, планируемый ввод – в 2025 г.) и

далее до Осаки (длина – 152 км, ввод – в 2045 г.), с испытательным полигоном Оцуки–Цуру в префектуре Яманаси, длиной 18,6 км, построенным в 1997 г. (в 2007-2014 гг. удлиненным до 42,4 км) и позволившем в апреле 2015 г. установить рекорд скорости 603 км/ч [8].

На основе изученного материала составляются полное описание каждой из существовавших коммерческих линий, оцениваются основные финансовые и технические показатели для каждой из них, в частности, по трассе дороги, искусственным сооружениям, габаритам используемых подвижных составов, затратам на строительство и эксплуатацию дорог, а также данные по пассажирообороту. Уделено внимание обоснованию выбора дороги с магнитолевитационной технологией среди других возможных вариантов, а также ошибкам, допущенным при проектировании и строительстве некоторых линий.

Сравнение показателей существующих дорог «Маглев», предназначенных для пассажирских перевозок, между собой и с нормативными показателями для российских ВСМ «Москва - Казань» [7], а также метрополитена, линий скоростных трамваев и автодорог позволило выявить некоторые особенности:

- имеет место достаточно большой разброс значений показателей (каждая дорога и вид транспорта по-своему уникальны);

- наибольшее влияние на значения показателей оказывают вертикальная нагрузка от подвижного состава и скорость движения поезда;

- принятие нормативной вертикальной нагрузки от подвижного состава (с грузом) по параметрам реально обращающихся современных и перспективных контейнеров, позволит уменьшить инерционные силы, возникающие при движении поезда и улучшить большинство показателей, снизить затраты на строительство и эксплуатацию дорог;

- будущий российский грузовой «Маглев» займёт, вероятно, особое место – его показатели будут существенно отличаться от ранее известных.

По результатам проделанной работы планируется подготовить обоснование отдельных требований СТУ и подготовить предложения по проведению экспериментальных работ, связанных с проектированием инфраструктуры, на опытном полигоне «пилотного» объекта.

А как построить «пилотный» объект? Большинство специалистов наверняка хорошо себе представляют, как это сделать. Но всё-таки будет полезной разработка общего алгоритма (процесса) проектирования и строительства «пилотного» объекта. В качестве примера на рис. 3 показана общая последовательность действий, которую можно взять за основу при разработке этого алгоритма. Ключевые моменты:

1. Самое главное – это разработка инвестиционного замысла и обоснование инвестиций. Без этого, очевидно, не найти инвесторов.

2. Планирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Инновационный, от начала до конца, проект требует серьезной научной, в том числе экспериментальной проработки. Для этого в составе пилотного объекта (по аналогии с подходом японцев, построивших в 1997 г. испытательный полигон в Яманаси) целесообразно выделить специальный участок (*полигон*) требуемой длины, на



Рис. 3. Общая последовательность проектирования и строительства «пилотного» объекта, на котором можно было бы решить все экспериментальные задачи.

После выполнения всех НИОКР этот полигон должен, хотя бы частично, использоваться в составе инфраструктуры «пилотного» объекта.

3. Завершение проектно-изыскательских работ возможно только после окончания НИОКР и разработки пакета СТУ и регламентов.

При планировании НИОКР целесообразно:

- включить в состав «пилотного» объекта эстакадные участки с различными по конструкции и применяемым материалам пролетными строениями и опорами;

- предусмотреть отдельный участок эстакады с облегченными металлическими опорами, позволяющими изменение в ходе эксперимента их планово-высотного положения для изучения взаимодействия подвижного состава с пролетными строениями при различных параметрах пути (продольном уклоне, радиусах кривых переломах профиля и плана пути, и т. д.).

Опытный полигон для проведения НИОКР, по нашему мнению, должен включать три, принципиально разных по назначению, участка:

- первый (длиной около 300 м) – для постоянного размещения и исследования процесса разгона подвижного состава;

- второй (длиной не менее 400 м) – для исследования взаимодействия подвижного состава и пути при различных параметрах плана и профиля трассы, а также искусственных сооружений и стрелочных переводов;

- третий (длиной около 300 м) – для исследования процесса торможения подвижного состава.

Библиографический список

1. Отечественный маглев предъявили общественности. Фоторепортаж. [Электронный ресурс] <http://www.rzd-partner.ru/>. Дата обращения: 17.04.2015.

2. Зайцев А. А. Контейнерный мост Санкт-Петербург–Москва на основе магнитной левитации // В сборнике материалов 2-й Международной конференции «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии» – СПб.: ПГУПС. 2014, – С. 6–19.

3. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология. – СПб.: ФИЗМАТЛИТ. 2014. – С. 50–99, 467.

4. Зайцев А. А. Эстакады или насыпь: нужен разумный подход / А. А. Зайцев, В. Е. Красковский, С. К Терлецкий // Дороги. Инновации в строительстве. – СПб.: 2012. № 19. – С. 18–21.

5. Красковский В. Е., Талашкин Г. Н. Искусственные сооружения для будущих дорог с магнитным подвесом // Дорожная держава. – СПб.: 2014. № 55. – С. 57–594.

6. Красковский В. Е. Общие вопросы проектирования искусственных сооружений на дорогах с использованием магнитолевитационной технологии// В сборнике материалов 2-й Международной конференции «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии». – СПб.: ПГУПС. 2014, – С. 72–78.

7. Специальные технические условия «Сооружения искусственные участка Москва - Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва - Казань - Екатеринбург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству» // – СПб.: Федеральное агентство железнодорожного транспорта. ПГУПС. 2014. – 136 с.

8. Maglev train clocks 603 kph, setting new world record. The Japan Times. 21.04.2015.

9. The future is already here. The Transrapid maglev system in Shanghai // Transrapid International. A joint company of Siemens and ThyssenKrupp. 10/2004. pp. 2-6.

10. Yadav M., Mehta N., Gupta A., Chaudhary A. & Mahindru D. V. Review of Magnetic Levitation (MAGLEV): A Technology to Propel Vehicles with Magnets // Global Journal of Researches in Engineering Mechanical & Mechanics. vol. 13, no. 7, Version 1.0, 2013, Global Journals Inc., ISSN: 2249-4596, p. 32-33.

References

1. *Otechestvennyi maglev prediavili obshchestvennosti* (Domestic maglev showed to the public). URL: <http://www.rzd-partner.ru/> (17/04/2015).

2. Zaitcev A. A. Konteinernyi most Sankt-Peterburg – Moskva na osnove magnitnoi levitacii [Container Bridge St. Petersburg - Moscow on the basis of a magnetic levitation]. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoi konferencii "Magnitolevitatsionnye transportnye sistemy i tehnologii"* (Proceedings of the 2nd International conference "Magnetolevitation Transport Systems and Technologies"). St. Petersburg, 2014, pp. 6-19.

3. Antonov Yu. F. & Zaitcev A. A. *Magnitolevitatsionnaia transportnaia tehnologiia* [Magnetolevitation transport technology]. St. Petersburg, 2014, pp. 50-99, 467 p.

4. Zaitcev A. A., Kraskovskiy V. E. & Terletckii S. K. *Dorogi. Innovacii v stroitel'stve - Roads. Innovations in construction*, St. Petersburg, 2012, no. 19, pp. 18-21.

5. Kraskovskiy V. E. & Talashkin G. N. *Dorozhnaia derzhava - Road power*, St. Petersburg, 2014, no 55, pp. 57-594.

6. Kraskovskiy V. E. Obshchie voprosy proektirovaniia iskusstvennykh sooruzhenii na dorogah s ispolzovaniem magnitolevitatsionnoi technologii [The general questions of design of artificial constructions on roads with use of magnetolevitation technology]. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoi konferentsii "Magnitolevitatsionnye transportnye sistemy i technologii"* (Proceedings of the 2nd International conference "Magnetolevitation Transport Systems and Technologies"). St. Petersburg, 2014, pp. 72-78.

7. *Spetsialnye tekhnicheskie usloviia "Sooruzheniia iskusstvennye uchastka Moskva - Kazan vysokoskorostnoi zheleznodorozhnoi magistrali Moskva - Kazan - Ekaterinburg. Tekhnicheskie normy i trebovaniia k proektirovaniuu i stroitelstvu"* [Special specifications "Constructions artificial a site Moscow - Kazan a high-speed railway line Moscow - Kazan - Yekaterinburg. Technical norms and requirements to design and construction"]. St. Petersburg, 2014. 136 p.

8. Maglev train clocks 603 kph, setting new world record. The Japan Times. (21/04/2015).

9. The future is already here. The Transrapid maglev system in Shanghai. Transrapid International. A joint company of Siemens and ThyssenKrupp. 10/2004, pp. 2-6.

10. Yadav M., Mehta N., Gupta A., Chaudhary A. & Mahindru D. V. *Global Journal of Researches in Engineering Mechanical & Mechanics*, vol. 13, no. 7, Version 1.0, 2013, Global Journals Inc., ISSN: 2249-4596, p. 32- 33.

Сведения об авторах:

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

КРАСКОВСКИЙ Василий Евгеньевич, ЗАО «ЛенГипрострой», главный инженер, кандидат технических наук, доцент E-mail: lengiprostroy@gmail.com

СМИРНОВ Владимир Николаевич, заведующий кафедрой «Мосты» ПГУПС, доктор технических наук, профессор E-mail: svn193921@rambler.ru

ПОТАПОВА Ирина Олеговна, инженер научно-исследовательской лаборатории "Инфраструктура магнитолевитационного транспорта" НОЦ ПП ПГУПС E-mail: inf.maglev@yandex.ru

Information about authors:

TALASHKIN Gennadii Nikolaevich, 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 Petersburg State Transport University, Candidate of Economic Sciences E-mail: talkomsk@gmail.com

KRASKOVSKIY Vasiliy Evgenevich, CJSC "LenGiprostroy", chief engineer,
Candidate of Technical Sciences, associate professor

E-mail: lengiprostroy@gmail.com

SMIRNOV Vladimir Nikolaevich, Head of the department "Bridges" of Petersburg
State Transport University, Doctor of Engineering, professor

E-mail: svn193921@rambler.ru

POTAPOVA Irina Olegovna, engineer of scientifically research laboratory
"Infrastructure of Magnetolevitation Transport" Scientific and Educational Center of
Passenger Traffic Petersburg State Transport University

E-mail: inf.maglev@yandex.ru

В. В. Никитин, Г. Е. Серeda, Е. Г. Серeda, А. Г. Серeda

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАРЯДА НЕСВЕРХПРОВОДНИКОВОГО ИНДУКТИВНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Дата поступления 26.06.2015

Решение о публикации 01.08.2015

Дата публикации 28.03.2016

Аннотация: Особенностью катушек индуктивности, которые и являются индуктивными накопителями энергии (ИН), как приемников, так и источников, согласно законам коммутации, является невозможность мгновенно изменить ток через индуктивность. Это обстоятельство затрудняет непосредственное подключение сверхпроводящих магнитов к источникам и приемникам энергии традиционного исполнения. Необходимы специальные схемы включения.

Наиболее целесообразным, представляется вариант заряда катушки индуктивности через промежуточный конденсатор (емкостной накопитель (ЕН)). В этом случае заряд катушки будет проходить поэтапно, принимая характер импульсной накачки энергии.

В работе подтверждена работоспособность схемы поэтапного заряда индуктивного накопителя через промежуточный емкостной накопитель.

Отмечено, что максимальное значение тока при заряде ЕН возрастает с увеличением величины емкости промежуточного накопителя, а также, с уменьшением величины последовательно включенной с ЕН индуктивности.

Ключевые слова: индуктивный накопитель энергии, заряд, промежуточный емкостной накопитель, экспериментальные исследования.

**Victor V. Nikitin, Gennady E. Sereda, Eugene G. Sereda,
Alexander G. Sereda**

Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I

EXPERIMENTAL STUDIES OF CHARGE OF NON-SUPERCONDUCTIVE MAGNETIC ENERGY STORAGE

Abstract: One of the urgent tasks of railway transport development connected with the problem of power saving according to “The strategic directions of scientific and technical development of OAO RZD for the period of up to 2015” is a wide use of power-intensive energy storages in the main technological processes of power consumption and energy generation.

Owing to the progress in the field of manufacturing high temperature superconductors of the second generation, the use of superconducting magnetic energy storages (SMES) is the most promising.

A feature of induction coils, which are inductive energy storage as receivers and sources, according to the laws of commutation is inability to change current quickly through induction. This makes difficult to connect superconducting magnet directly to energy sources and receivers of traditional performance. This means that SMES require special charging circuits.

The most viable is to charge coil via intermediate capacitor (capacitance storage (CS)). In this case, coil charge will be on phased basis, taking character of pulse pump of energy. The advantages of this modification are that energy source released from handling large, slowly varying currents, resulting in possibility to flexibly adjust magnitude and duration of coil charge depending on the required charging mode.

To verify that the scheme of charging inductive energy storage via intermediate capacitor non-superconductive magnetic energy storage which, unlike superconductive has a finite resistance, has been used.

The authors confirmed working capacity of charging scheme for inductive energy storage via intermediate capacitor on phased basis.

It is noted that maximum current value during charge of CS increases with capacitance value of the intermediate storage and with decreasing series included with CS inductance.

Keywords: inductive energy storage; charge; intermediate capacitor; experimental studies.

Введение

Особенностью катушек индуктивности, которые и являются индуктивными накопителями энергии (ИН), как приемников, так и источников, согласно законам коммутации, является невозможность мгновенно изменить ток через индуктивность. Это обстоятельство затрудняет непосредственное подключение сверхпроводящих магнитов к источникам и приемникам энергии традиционного исполнения. Необходимы специальные схемы включения [1-13].

Наиболее целесообразным, представляется вариант заряда катушки индуктивности через промежуточный конденсатор (емкостной накопитель (ЕН)) [1, 2]. В этом случае заряд катушки будет проходить поэтапно, принимая характер импульсной накачки энергии. Преимущества такого варианта состоят в том, что источники энергии освобождаются от работы с большими, медленно меняющимися токами, в результате чего появляется возможность гибко регулировать величину и длительность заряда катушки в зависимости от требуемых режимов заряда.

Для проверки работоспособности схемы заряда индуктивного накопителя через промежуточный емкостной накопитель был использован несверхпроводниковый индуктивный накопитель энергии который в отличие от сверхпроводникового (СПИН) обладает конечным активным сопротивлением.

Особенностью работы схемы с индуктивным накопителем (ИН) в отличие от схемы со СПИН является значительные потери энергии накопленной в ИН на активном сопротивлении, в момент дозаряда промежуточного ЕН. Наличие потерь приводит к тому, что в процессе заряда ИН наступает такой установившийся режим, при котором энергия, полученная от промежуточного ЕН при одном цикле разряда, будет равна энергии рассеиваемой на активном сопротивлении ИН за время одного цикла заряда промежуточного ЕН. Вследствие этого заряд ИН будет происходить до значения среднего тока, обусловленного балансом энергии отдаваемой от промежуточного ЕН и энергии рассеиваемой на активном сопротивлении ИН.

Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис.1.

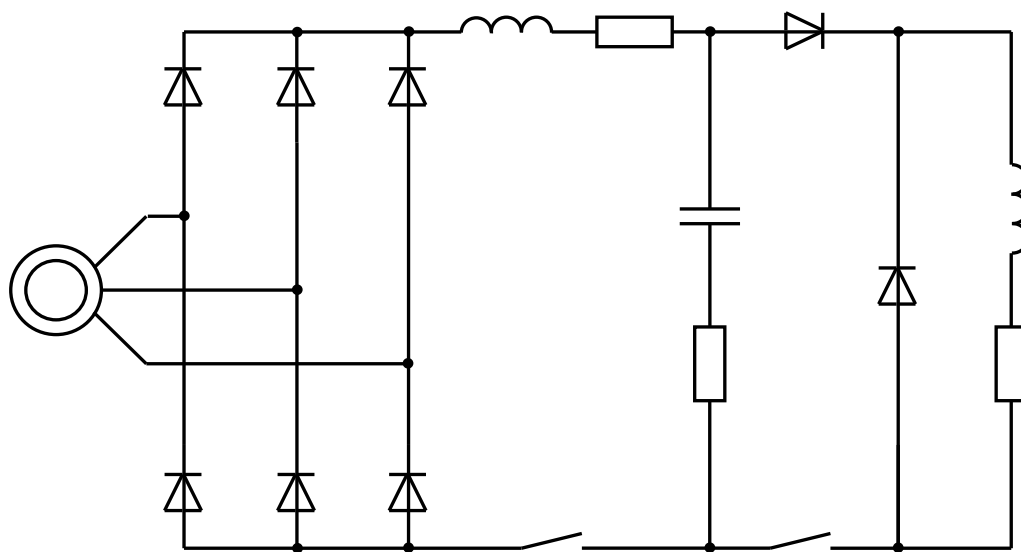


Рис.1. Принципиальная схема зарядного преобразователя

Эксперимент

Экспериментальная установка состоит из: трехфазного синхронного генератора СГ ПНТ-45, трехфазного неуправляемого выпрямителя, собранного на диодах $VD1$ – $VD6$ типа ВЧ2-160-10, токоограничивающего реактора (индуктивностью $L_{ТР}$ и активным сопротивлением $R_{ТР}$), промежуточного емкостного накопителя ЕН (емкостью $C_{ЕН}$ и активным сопротивлением $R_{ЕН}$), индуктивного накопителя (индуктивностью $L_{ИН}$ и активным сопротивлением $R_{ИН}$), диода $VD7$, не допускающего разряд индуктивного накопителя на промежуточный ЕН, диода $VD8$, обеспечивающего контур протекания тока ИН при заряде промежуточного ЕН и полупроводниковых ключей $K1$ и $K2$, условно представленных на рисунке замыкающими контактами.

Преобразователь давал возможность изменения индуктивности токоограничивающего реактора $L_{ТР}$ в пределах 0,1 – 0,4 Гн, за счет изменения положения сердечника, и емкости промежуточного емкостного накопителя $C_{ЕН}$ в пределах 100 – 800 мкФ, путем параллельного включения конденсаторов. Полупроводниковые ключи $K1$ и $K2$ были изготовлены на основе биполярных транзисторов ВU508. Управление ключами осуществлялось от персонального компьютера через СОМ порт при помощи программы, написанной в среде Turbo Pascal. Ключи $K1$ и $K2$ были расположены в точке схемы с низким потенциалом для уменьшения вероятности выхода из строя полупроводниковых приборов по причине пробоя из-за возникающих перенапряжений при коммутации.

Методика проведения экспериментального исследования предусматривала:

1. Определение параметров индуктивного накопителя.
2. Определение величины начального броска тока при заряде промежуточного емкостного накопителя в зависимости от: индуктивности токоограничивающего реактора и от емкости промежуточного емкостного накопителя, при неизменном напряжении на выходе трехфазного выпрямителя.
3. Осциллографирование кривых токов и напряжений на промежуточном емкостном накопителе и индуктивном накопителе при заряде индуктивного накопителя.

Параметры индуктивного и емкостного накопителей определялись измерительным мостом переменного тока. Для снятия зависимости начального броска тока при заряде промежуточного накопителя от основных параметров преобразователя и осциллографирования кривых применялся комплект виртуальных компьютерных измерительных приборов NI ELVIS.

В результате экспериментальных исследований получены:
 – осциллограммы токов и напряжений на промежуточном емкостном накопителе и индуктивном накопителе при заряде индуктивного накопителя до установившегося режима (рис. 2, 3);

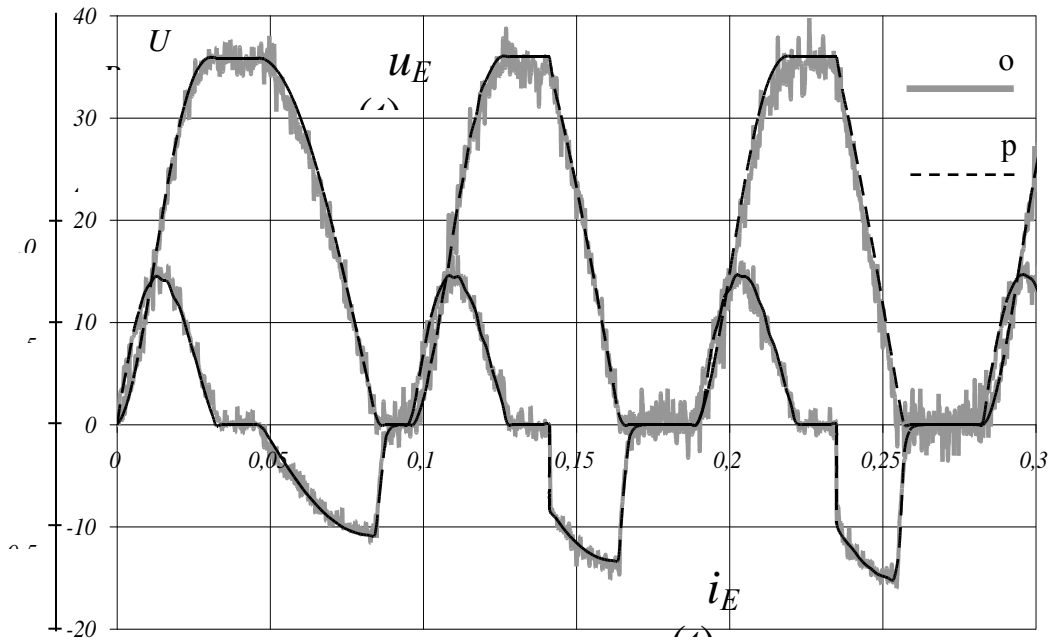


Рис.2. Ток и напряжение на промежуточном ЕН

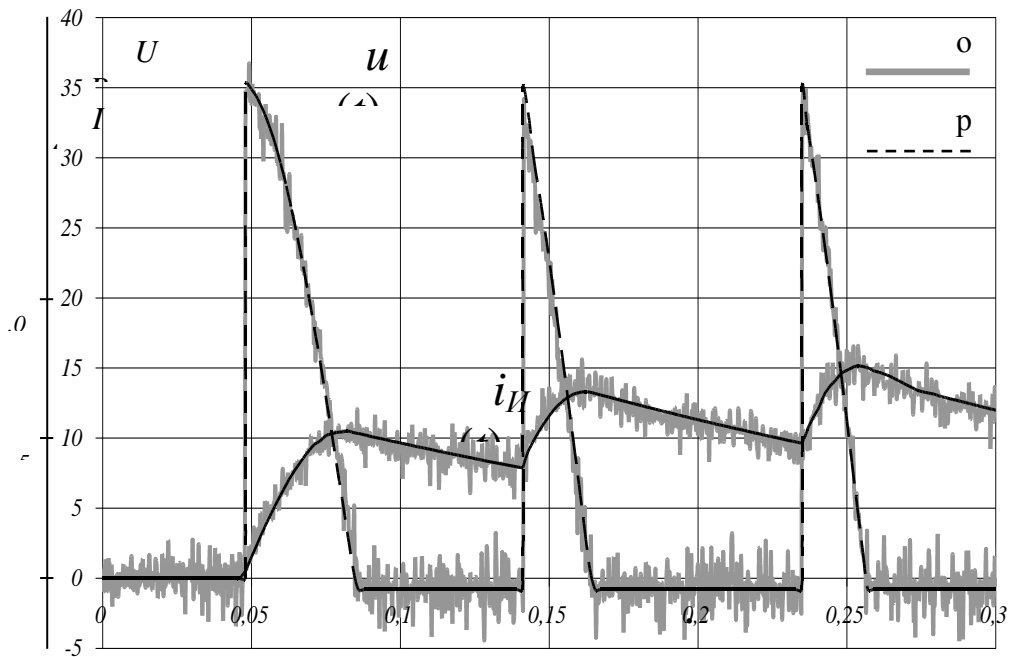


Рис.3. Ток и напряжение на ИН

– зависимости начального броска тока при заряде промежуточного ЕН от величины индуктивности токоограничивающего реактора и емкости промежуточного ЕН, при неизменном напряжении на выходе трехфазного выпрямителя (рис. 4, 5).

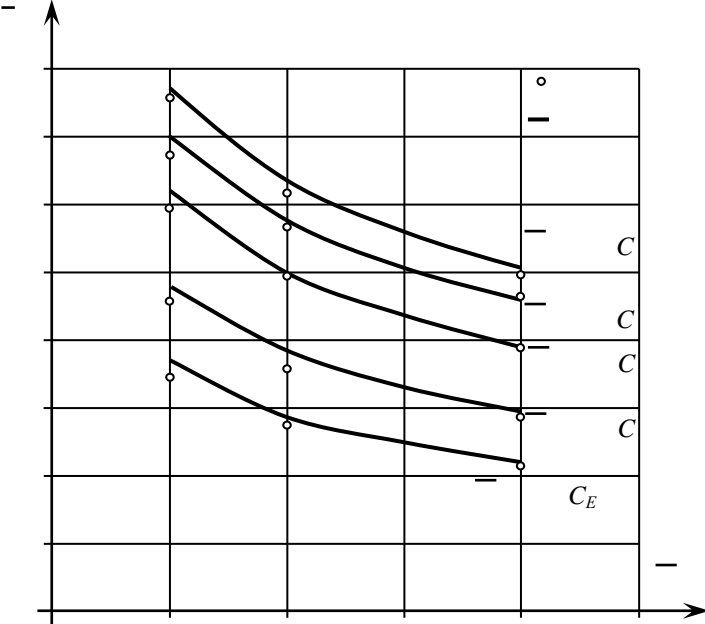


Рис.4. Зависимость начального броска тока при заряде промежуточного ЕН от индуктивности токоограничивающего реактора

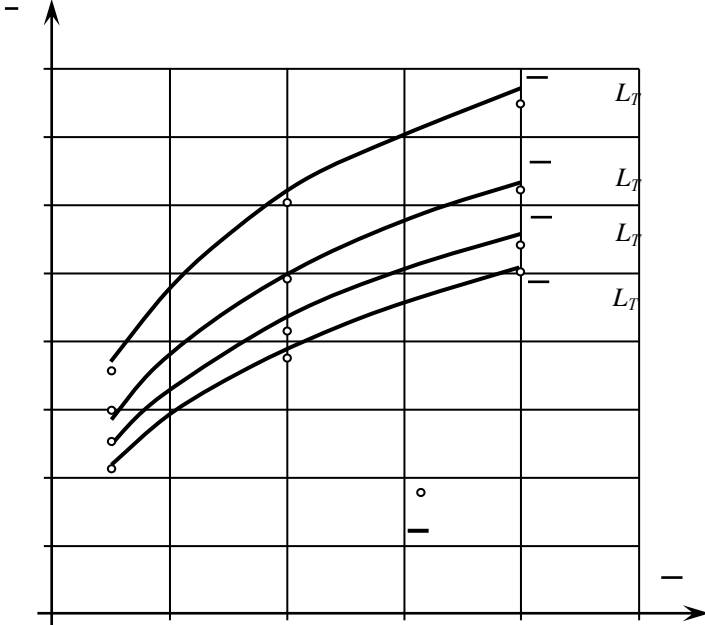


Рис.5. Зависимость начального броска тока при заряде промежуточного ЕН от его емкости

Выводы

1. В работе экспериментально подтверждена работоспособность схемы поэтапного заряда индуктивного накопителя через промежуточный емкостной накопитель.

2. Отмечено, что максимальное значение тока при заряде ЕН возрастает с увеличением величины емкости промежуточного накопителя, а также, с уменьшением величины последовательно включенной с ЕН индуктивности.

Библиографический список

1. Никитин В. В. Принципы использования сверхпроводникового индуктивного накопителя энергии для повышения экономичности силовой установки автономного транспортного средства / В. В. Никитин, Е. Г. Серeda, Б. А. Трифонов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – № 1 – 2, 2010 – С. 62 – 70.

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

3. Бут Д. А. Накопители энергии: Учебное пособие для вузов / Д. А. Бут, Б. Л. Алиевский, С. Р. Мизюрин, П. В. Васюкевич: Под ред. Д. А. Бута. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.

4. Хожайнов А. И., Никитин В. В. Автономная тяговая электрическая передача со сверхпроводниковыми электрическими машинами и индуктивным накопителем энергии // М.: Электричество, 1996 – № 10. – С. 30–37.

5. Хожайнов А. И. Способ применения сверхпроводникового накопителя энергии (СПИН) для повышения экономичности грузовых газотурбовозов / А. И. Хожайнов, В. В. Никитин, Г. Е. Серeda // Транспорт Российской Федерации, 2007 – №7 – С.29-31.

6. Серeda Е. Г. Анализ схемы заряда сверхпроводникового индуктивного накопителя энергии через промежуточный емкостной накопитель // Известия Петербургского университета путей сообщения, 2009 – №2 – С.60 – 70.

7. Glukhikh V. Feasibility of SMES Devices Basing on the Developed Technology of Superconducting Magnets for Tokamak Fusion Reactors / V. Glukhikh, O. Filatov, V. Belyakov // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2000. – Vol.10. – No1. pp. 771–776.

8. Development of 1 MJ conduction-cooled LTS pulse coil for UPS-SMES / Mito Toshiyuki, Kawagoe Akifumi, Chikaraishi Hirota, Maekawa Ryuji, Hemmi Tsutomu, Okumura Kagao, Abe Ryo, Baba Tomosumi, Ogawa

Hideki, Yokota Mitsuhiro, Morita Yoshitaka, Yamauchi Kenji, Iwakuma Masataka, Kuge Atsuko, Nakamura Akira, Sumiyoshi Fumio // Applied Superconductivity Conference, Seattle, Wash, Aug.27-Sept.1, 2006. Pt2. / IEEE Trans. Appl. Supercond 2007 17, N2 2, Pt. 2, P.1973-1976.

9. Design of a 1 MJ/0,5 MVA HTS magnet for SMES / Dai Shaotao, Xiao Liye, Wang Zikai, Zhang Jingye, Zhang Dong, Hui Dong, Song Naihao, Zhang Fengyuan, Gao Zhiyuan, Wang Yinshun, Lin Liangqzhen // Applied Superconductivity Conference, Seattle, Wash, Aug. 27-Sept. 1, 2006. Pt 2. / IEEE Trans. Appl. Supercond –2007, №2, pt.2, P.1977-1980.

10. Fabrication and test of a 1 MJ HTS magnet for SMES / Xiao Liye, Wang Zikai, Dai Shaotao, Zhang Jinye, Zhang Dong, Gao Zhiyuan, Song Naihao, Zhang Fengyuan, Xu Xi, Lin Liangzhen // 20 International Conference on Magnet Technology, Philadelphia, Pa, Aug. 27-31, 2007. / IEEE Trans. Appl. Supercond. – 2008, № 2, P.770-773.

11. Conceptual design of HTS magnet for a 5 MJ class SMES / Park Myungjin, Kwak Sangyeop, Kim Wooseok, Lee Jikwang, Han Jinho, Choi Kyeongdal, Jung Hyunkyo, Bae Joonhan, Kim Seokho, Sim Kiduk, Kim Haejong, Seong Kichul, Hanh Songyop // 20 international Conference on Magnet Technology, Philadelphia, Pa. Aug. 27-31. / Applied Superconductivity. – 2008, № 2, P.750-753.

12. Using a superconducting magnetic energy storage coil to improve efficiency of a gas turbine powered high speed rail locomotive / Johnson Brian K., Law Joseph D., Saw Gerald P. // IEEE Trans. Appl. Supercond – 2001. Vol. 11, № 1, P. 1900-1903.

13. Стрепетов В. М. Комбинированная система левитации и тяги на переменном токе. Основные результаты // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: труды 1-й междунар. научн. конф., СПб, 29-31 октября 2013. – СПб: ПГУПС, 2014. – С. 391–395.

References

1. Nikitin V. V., Sereda E. G., & Trifonov B. A. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy ehnergetiki - Proceedings of Higher Schools. Problems of energetics*, 2010, no 1-2, pp. 62-70.

2. Antonov Yu. F. & Zaitsev A. A. *Magnitolevitacionnaya transportnaya tekhnologiya* [Magnet levitation transport technology]. Moscow, 2014. 476 p.

3. But D. A., Alievsky B. L., Mizyurin S. R. & Vasyukevich P. V. *Nakopiteli ehnergii: Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Energy Storages: text-book for higher schools]. Moscow, 1991. 400 p.

4. Khodzainov A. I. & Nikitin V. V. *Electricity*, 1996, no. 10, pp. 30-37.

5. Khodzainov A. I., Nikitin V. V. & Sereda G. E. *Transport Rossijskoj Federacii - Russian Federation Transport*, 2007, no 7, pp. 29-31.
6. Sereda E. G. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya - Proceedings of Petersburg Transport University*, 2009, no. 2 (19), pp. 60-70.
7. Glukhikh V., Filatov O. & Belyakov V. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2000, vol. 10, no. 1, pp. 771-776.
8. Toshiyuki M., Akifumi K., Hirotaka Ch., Ryuji M., Tsutomu H., Kagao O., Ryo A., Tomosumi B., Hideki O., Mitsuhiro Y., Yoshitaka M., Kenji Y., Masataka I., Atsuko K., Akira N. & Fumio S. *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 2007 (17), no. 22, vol. 2, pp. 1973-1976.
9. Shaotao D., Liye X., Zikai W., Jingye Z., Dong Z., Dong H., Naihao S., Fengyuan Z., Zhiyuan G., Yinshun W. & Liangqzhen L. *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 2007, no. 2, vol. 2, pp.1977-1980.
10. Liye X., Zikai W., Shaotao D., Jinye Z., Dong Z., Zhiyuan G., Naihao S., Fengyuan Z., Xi X. & Liangzhen L. *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 2008, no. 2, pp. 770-773.
11. Myungjin P., Sangyeop K., Wooseok K., Jikwang L., Jinho H., Kyeongdal C., Hyunkyo J., Joonhan B., Seokho K., Kiduk S., Haejong K., Kichul S. & Songyop H. *Applied Superconductivity*, 2008, no. 2, pp.750-753.
12. Johnson B. K., Law J. D. & Saw G. P. *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 2001, vol. 11, no. 1, pp. 1900-1903.
13. Strepetov V. M. Kombinirovannaya sistema levitacii i tyagi na peremennom toke. Osnovnye rezul'taty [AC Levitation and Traction Combined System. Base results] *Trudy I Mezhdunarodnoj nauchnshchj konferencii "Magnitnolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii"* (Works I int. sci. conf. "Magnetic and levitation transport systems and technologies"). St. Peterburg, 2013, pp. 82-92.

Сведения об авторах:

НИКИТИН Виктор Валерьевич, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электромеханические комплексы и системы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
E-mail: victor-nikitin@nm.ru

СЕРЕДА Геннадий Евгеньевич, к.т.н., доцент кафедры «Электромеханические комплексы и системы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
E-mail: gennady.sereda@mail.ru

СЕРЕДА Евгений Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры «Электромеханические комплексы и системы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
E-mail: g-pereda@mail.ru

СЕРЕДА Александр Геннадьевич, инженер кафедры «Электромеханические комплексы и системы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
E-mail: ag-sereda@mail.ru

Information of authors:

Victor V. NIKITIN, Ph.D., Associate Professor, Head of the Department "Electromechanical complexes and systems" VPO «Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I»
E-mail: victor-nikitin@nm.ru

Gennady E. SEREDA, Ph.D., associate professor of the department "Electromechanical complexes and systems" VPO «Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I»
E-mail: gennady.sereda@mail.ru

Eugene G. SEREDA, Ph.D., associate professor of the department "Electromechanical complexes and systems" VPO «Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I»
E-mail: g-pereda@mail.ru

Alexander G. SEREDA, engineer of the department "Electromechanical complexes and systems" VPO «Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I»
E-mail: ag-sereda@mail.ru

Раздел 3. БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК: 621.396:519.853+504.75

С. М. Аполлонский
ОАО «Ленгипротранс»

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СИСТЕМЕ

Дата поступления 19.06.2015

Решение о публикации 03.07.2015

Дата публикации 28.03.2016

Аннотация: Рассмотрены вопросы функциональной безопасности и нормативно-технического регулирования в области электромагнитной совместимости технических средств в электроэнергетической железнодорожной системе.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электромагнитная совместимость электрооборудования, электромагнитная среда, электромагнитная обстановка, электромагнитная безопасность технических средств, функциональная безопасность.

Stanislav M. Apollonskiy
Open Joint Stock Company “LENGIPROTRANS”
FUNCTIONAL SAFETY ELECTRIFIED RAILWAYS

Abstract: The study of functional safety includes identification of specific hazards that may cause serious consequences (e.g., human sacrifices), and establishing for each of them maximum frequency of occurrence. Reveals equipment, failure of which may contribute to the occurrence of such situations. Such equipment is usually referred to as "security-related". Examples include process of control systems, process shutdown systems, equipment alarm systems, centralization and blocking on the railway, controls the movement of the vehicle, medical equipment, etc. In other words, any equipment (software or not), failure of which may affect the occurrence of an emergency, should be regarded as "security-related".

It should be noted that at present the world's leading corporations seek not just to provide EMC electrical systems that they produce, and make them functional safety.

Functional safety is called security, which is associated with inadvertently cause failure in the performance of certain functions of the system. The reasons for failure may be defective programs, data, hardware, environmental effects and unintentionally incorrect of staff actions.

Functional safety should be distinguished from the information security (generally deliberate action on the system); from electrical safety (protection of people from electrical shock) and from the explosion and fire (to prevent ignition of flammable gases and dust).

Functional safety is also characterized by very close to the concept of reliability in that it takes into account not only the frequency of failures of the system but also the likelihood of a dangerous situation during a failure. The term "functional" with respect to the safety means automation security, which is dependent on the correct functioning of the system, i.e. the correct implementation of the system of its functions. In contrast, describes a failure rate of reliability regardless of the destination system and consequences caused by failures. However, reliability is used in the quantitative description of functional safety.

The issues of functional safety and regulatory technical regulation in the field of electromagnetic compatibility technical equipment in electrified railways are considered.

Keywords: electromagnetic field, electromagnetic compatibility of electrical equipment, the electromagnetic environment, electromagnetic safety of technical equipment, functional safety.

1. Введение

Изучение функциональной безопасности включает в себя выявление таких специфических опасных ситуаций, которые могут повлечь за собой серьезные последствия (например, человеческие жертвы), и установление для каждой из них максимально допустимой частоты возникновения. Выявляется оборудование, отказ которого может внести вклад в возникновение подобных ситуаций. Такое оборудование обычно называют «связанным с безопасностью». Примерами могут служить системы управления производственными процессами, системы останова технологического процесса, оборудование систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) на железной дороге, средства управления движением автомобиля, медицинское оборудование и т.д. Иными словами, любое оборудование (с программным обеспечением или без него), отказ которого может повлиять на возникновение аварийной ситуации, следует считать «связанным с безопасностью».

Следует отметить, что в настоящее время ведущие мировые концерны стремятся не просто обеспечить ЭМС электротехнических комплексов, которые они производят, а сделать их функционально безопасными.

Функциональной безопасностью называют безопасность, которая связана с непреднамеренно вызванными отказами в выполнении отдельных функций системы [1]. Причинами отказов могут быть дефекты программ, данных, аппаратуры, влияние внешней среды и непреднамеренно неправильные действия обслуживающего персонала.

Функциональную безопасность следует отличать от информационной безопасности (в основном, умышленное воздействие на

систему); от электробезопасности (защита человека от поражения электрическим током) и от взрывопожаробезопасности (предотвращение воспламенения горючих газов и пыли).

Функциональная безопасность отличается также от очень близкого понятия надежности тем, что она учитывает не только частоту отказов системы, но и вероятность возникновения опасной ситуации во время отказа. Термин "*функциональная*" применительно к безопасности систем автоматизации означает безопасность, которая зависит от корректного функционирования системы, т.е. от правильного выполнения системой своих *функций*. В отличие от этого, надежность описывает частоту отказов независимо от назначения системы и тяжести последствий, вызванных отказами. Тем не менее, показатели надежности используются при количественном описании функциональной безопасности.

В представленном докладе рассмотрены вопросы функциональной безопасности и нормативно-технического регулирования в области ЭМС технических средств в ЭЭЖС.

2. Преднамеренные электромагнитные воздействия в ЭЭЖС

Отличие такого рода воздействий от коммутационных помех или наводок, вызванных протеканием тока молнии, заключается в том, что при мощности, соизмеримой с мощностью разряда молнии, эти воздействия могут находиться так же близко к чувствительной аппаратуре, как и источники относительно слабых коммутационных помех.

Основными каналами преднамеренного воздействия на электронную аппаратуру являются сети электропитания всех классов напряжения, контрольные кабели и проводные линии связи, эфир. Поскольку микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ) в ЭЭЖС связаны и с внешней сетью электропитания, и с разветвленной сетью контрольных кабелей, и с проводами-антеннами ЛЭП (через трансформаторы напряжения и тока), и с компьютерной сетью, то оказываемое на них деструктивное воздействие может быть очень сильным и одновременно скрытным. Существенно повышает скрытность электромагнитного воздействия то обстоятельство, что анализ повреждений в уничтоженном оборудовании не позволяет однозначно идентифицировать причину возникновения повреждения, так как причиной одних и тех же повреждений может быть силовое деструктивное воздействие как преднамеренное (нападение), так и непреднамеренное (например, индукция от молнии). Это обстоятельство позволяет злоумышленникам успешно использовать эту технологию неоднократно.

Микроволновые источники излучения высокой мощности, работающие в сантиметровом и миллиметровом диапазонах, имеют дополнительный механизм проникновения энергии в оборудование даже через небольшие отверстия, вырезы, окна и щели в металлических корпусах, через плохо экранированные интерфейсы. Любое отверстие, ведущее внутрь оборудования, ведет себя как щель в микроволновой полости, позволяя микроволновой радиации формировать пространственную стоячую волну внутри оборудования [2]. Компоненты, расположенные в противоположных узлах стоячей волны, будут подвергаться воздействию электромагнитных полей (ЭМП) и перенапряжений. Особо чувствительны к воздействиям такого рода элементы памяти и современные микропроцессоры с очень высокой степенью интеграции внутренних компонентов. Отсюда становится понятным, что защититься от всех этих «напастей» не так-то просто. И даже такие известные помехоустойчивые технологии, как оптоволоконные, оказываются подверженными, как это не покажется странным, воздействию мощных ЭМ импульсов. Во-первых, оптоволоконные линии имеют концевые устройства, выполненные на микроэлектронных компонентах и даже на микропроцессорах, которые предназначены для преобразования электрического сигнала в световой сигнал и обратно. Во-вторых, известно, что вектор поляризации света в оптическом волокне может изменяться под действием внешнего магнитного поля. Это приводит к тому, что сигналы систем релейной защиты и связи, передаваемые по оптическому волокну, встроенному в провода высоковольтной ЛЭП (весьма распространенная сегодня технология), будут подвергаться искажениям при протекании по этим проводам больших импульсных токов, создающих импульсные магнитные поля. Уже сегодня фиксируются сбои в работе этих систем при растекании по проводам ЛЭП токов молнии.

Очевидно, что не возможно полностью защитить электронное оборудование современных СЦБ в ЭЭС от естественных и, особенно, от преднамеренных электромагнитных воздействий. Однако существующие сегодня способы защиты (специальные шкафы, электропроводные прокладки и смазки, фильтры и т. п.) могут существенно ослабить влияние внешних ЭМП и излучений в широком спектре частот на высокочувствительные устройства.

Понятно, что использование специальных технологий для защиты микропроцессорных устройств приводит к дополнительному удорожанию релейной защиты. Но с этим приходится мириться. Если этого не сделать сейчас, то может наступить момент, когда делать это будет уже поздно, ибо зависимость нашей цивилизации от электроники, компьютеров,

микропроцессоров стала столь значительной, что беспечность в сфере защиты этих систем от преднамеренного воздействия на них направленного электромагнитного излучения может обернуться непредсказуемыми последствиями.

Существующая в электроэнергетике тенденция все расширяющегося применения микропроцессорных устройств релейной защиты, непосредственно управляющих энергетическим оборудованием - с одной стороны, и тенденция увеличения плотности элементов в микрочипах (сопровождающаяся снижением их устойчивости к внешним электромагнитным воздействиям) - с другой, на фоне прогресса в области создания средств дистанционного деструктивного воздействия создают весьма опасный прецедент [3].

3. Проблемы электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты

Проблема ЭМС электронной аппаратуры возникла вместе с самой этой аппаратурой, поскольку одни ее узлы функционально построены таким образом, что являются приемниками электромагнитного излучения, тогда как другие - источниками излучения. Проблемы возникали как из-за взаимного влияния одних узлов на другие внутри аппаратуры, так и при воздействии на электронную аппаратуру внешних излучений различного происхождения. Десятилетиями проблемы ЭМС были прерогативой специалистов в области электроники, радиотехники и связи. В последние десятилетия эта проблема стала весьма актуальной и в электроэнергетике. Конечно, довольно значительные ЭМП на объектах электроэнергетики существовали всегда. Однако применявшиеся десятилетиями устройства автоматики, управления и релейной защиты электромеханического типа были мало подвержены этим полям, и никаких особых проблем с ЭМС не возникало. Последние два десятилетия характеризуются интенсивным переходом от электромеханических к микропроцессорным устройствам релейной защиты (МУРЗ) в электроэнергетике. Причем этот переход осуществляется не только по мере строительства новых подстанций и электростанций, но и путем замены старых электромеханических реле защиты на подстанциях, построенных еще в те времена, когда никто даже не предполагал использование в них микропроцессорной техники. Суперсовременные МУРЗ оказались весьма чувствительны к электромагнитным помехам, поступающим из окружающей среды, по цепям оперативного тока, цепям напряжения и от трансформаторов тока. Отмечались случаи ложного срабатывания МУРЗ даже от мобильного

телефона [4]. В качестве других примеров можно привести случаи ложного срабатывания микропроцессорных устройств на действующих объектах «Мосэнерго» - Очаковской и Зубовской подстанциях. Алгоритм работы защит нарушался из-за молнии, работающего поблизости экскаватора, электросварки и некоторых других помех. Во время ввода в действие Липецкой подстанции, руководство которой потратило около полутора миллионов долларов на приобретение МУРЗ, проблемы с микропроцессорными устройствами полгода не позволяли запустить этот энергообъект. В итоге подстанцию запустили, используя комплект традиционных защит [5].

На практике приходилось сталкиваться со случаями, когда короткие замыкания по стороне 110 кВ вызывали ложную работу защит на стороне 330 кВ, а помехи при коммутациях по одному классу напряжения проникали (через общие цепи оперативного тока) на входы аппаратуры РЗА, работающей по другому классу напряжения [6].

Неправильная работа релейной защиты по причине недостаточной ЭМС, по данным «Мосэнерго», составляет до 10% от всех случаев ложной работы и касается, в основном, только реле на микроэлектронной и микропроцессорной элементной базе [5]. Столь высокий процент случаев неправильной работы по причине недостаточной ЭМС вызван тем, что чувствительность к электромагнитным помехам МУРЗ на несколько порядков выше, чем у традиционных электромеханических защит. Например, по данным [6], если для нарушения работы электромеханического реле требуется энергия 10^{-3} Дж, то для нарушения работы интегральных микросхем – всего 10^{-7} Дж. Разница составляет 4 порядка.

Степень повреждения зависит от устойчивости как каждого из компонентов схемы, так и от энергии мощной помехи в целом, которая может быть поглощена схемой без появления дефекта или отказа. Например, для электромагнитного реле с катушкой на напряжение 230 В переменного тока коммутационная помеха от индуктивной нагрузки с амплитудой 500 В хотя и является более чем двукратным перенапряжением, но вряд ли приведет к отказу реле из-за стойкости электромеханики к такого рода помехам и малой длительности самой помехи (в течение микросекунд). Иначе обстоит дело с микросхемой, питающейся от источника 5 В постоянного тока. Импульсная помеха с амплитудой 500 В в 100 раз превышает напряжение питания этого электронного компонента и приводит к неизбежному отказу и последующему разрушению устройства. Стойкость микросхем к перенапряжениям на несколько порядков ниже, чем стойкость электромагнитного реле [7].

Импульсные перенапряжения, возникающие при разрядах молний и при коммутации в силовых электроустановках, способны повреждать и разрушать как электронные устройства, так и целые системы. Многолетняя статистика подтверждает, что число таких повреждений удваивается каждые три-четыре года [7]. Эта статистика хорошо согласовывается с законом Мура [6], еще в 1965 году показавшим, что количество полупроводниковых компонентов в микрочипах удваивается примерно каждые два года. И такая тенденция сохраняется уже много лет. Если каких-то десять лет тому назад микросхемы так называемой транзисторно-транзисторной логики (TTL) содержали 10-20 элементов на квадратный миллиметр и имели типичное напряжение питания 5 В, то сегодня популярные микросхемы могут содержать почти сто CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) транзисторов на каждом квадратном миллиметре поверхности и имеют напряжение питания только 1,2 В. Новейшие технологии твердого тела, например, SOS (Silicon-On-Sapphire), поднимают плотность элементов до 500 на одном квадратном миллиметре поверхности [8]. Ясно, что для таких микросхем потребуется еще более низкое напряжение питания. При этом совершенно очевидно, что с повышением степени интеграции в микроэлектронике уменьшается устойчивость ее компонентов к высоковольтным импульсным перенапряжениям по причине уменьшения толщины изоляционных слоев и уменьшения рабочих напряжений полупроводниковых элементов.

Поскольку помехи, имеющие меньшую энергию, возникают чаще помех, имеющих большую энергию, наиболее частой реакцией МУРЗ на воздействие электромагнитных помех будет не разрушение устройства, а нарушение его работы или кратковременный сбой в работе с последующим восстановлением нарушенной функции. Это означает, что сработавшее неправильно на подстанции МУРЗ покажет полностью исправную работу при его исследовании в лаборатории, и установить причину его ложного срабатывания на подстанции будет невозможно.

В практике ОАО «Мосэнерго» накопилось уже достаточно фактов негативного влияния электромагнитных помех на работу МУРЗ. Наиболее наглядно это показывает опыт включения магнитного поля защит фирмы Siemens на ТЭЦ-12 ОАО «Мосэнерго» по проекту, выполненному институтом «Атомэнергопроект». При проектировании никак не были учтены требования ЭМС. Вследствие помех только за период с августа по декабрь 1999 года было зарегистрировано более 400 ложных информационных сигналов по дискретным и аналоговым входам МУРЗ [9]. При этом следует иметь в виду, что цена каждого отказа МУРЗ раз в 10 выше, чем цена отказа одного электромеханического реле, вследствие концентрации большого количества функций в каждом МУРЗ.

4. Функциональная безопасность в ЭЭЖС

Проблемы ЭМС современной ЭЭЖС значительно усложнены из-за применения современных высокочувствительных средств, обеспечивающих СЦБ, надёжность которых может оказаться ниже, чем при применении электромеханических релейных систем.

Справедливости ради следует отметить, что в России, активно занимающейся разработкой средств поражения электронной аппаратуры, находятся отдельные специалисты в области электроэнергетики и релейной защиты, понимающие нависшую опасность и принимающие соответствующие меры. Например в одном из базовых центров по внедрению передовых компьютерных (интеллектуальных) технологий в электроэнергетике России, созданном на базе Великоустюгских электрических сетей «Вологдаэнерго» и охватывающей 35 подстанций, с самого начала реконструкции приняли модель, согласно которой электромеханические защиты не были выброшены на свалку, а, наоборот, на базе новых электромеханических реле защиты разработаны и созданы новые панели релейной защиты, специально предназначенные для ввода в эксплуатацию в критической ситуации, когда вся компьютерная техника может быть выведена из строя. Кроме того, и сама интеллектуальная система автоматического управления специально разрабатывается для этого опытного полигона российской энергетики предприятиями оборонной промышленности по технологиям, используемым для производства космических аппаратов.

Изучение функциональной безопасности ЭЭЖС включает в себя выявление таких специфических опасных ситуаций, которые могут повлечь за собой серьезные последствия, и установление для каждой из них максимально допустимой частоты возникновения. Выявляется также оборудование, отказ которого может внести свой вклад в возникновение подобных ситуаций. Такое оборудование обычно называют «связанным с безопасностью». Например, системы сигнализации, централизации и блокировки на железной дороге. Их отказ может повлиять на возникновение аварийной ситуации, а поэтому их следует считать «связанным с безопасностью».

Следует отметить, что в настоящее время ведущие мировые концерны стремятся не просто обеспечить ЭМС электротехнических комплексов, которые они производят, а сделать их функционально безопасными.

Функциональной безопасности программируемых электронных систем посвящен международный стандарт IEC 61508, а также серия связанных с ним стандартов [10].

Стандарт IEC 61508 устанавливает общий подход к вопросам обеспечения безопасности для всего жизненного цикла систем, состоящих из электрических / электронных / программируемых электронных систем (E / E / PES), которые используются для выполнения функций безопасности. Этот унифицированный подход 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 стандарт посвящен в основном (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, 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.

По существу стандарт:

- рассматривает все 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;
- был 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.

Стандарт IEC 61508 выделяет четыре «уровня полноты безопасности» (Safety Integrity Level, SIL), которые выбираются в зависимости от тяжести последствий, которые могут наступить при неправильном функционировании системы.

Уровни SIL определяют величину допустимого риска для системы. Они являются мерой вероятности того, что система будет правильно выполнять свои функции, влияющие на безопасность.

Уровень SIL4 является самым высоким, наиболее труднодостижимым. Для его обеспечения требуется чрезвычайно высокая квалификация и работа «на грани искусства». Поэтому следует избегать необходимости его применения.

Уровень SIL3 ниже, чем SIL4, но также требует высокой квалификации и высокого уровня организации процесса проектирования. Немногие исполнители способны обеспечить этот уровень безопасности.

Уровень SIL2 требует управления работами в соответствии со стандартом ISO 9001. Достижение этого уровня требует большего числа испытаний, чем SIL1, что приводит к удорожанию проекта.

Уровень SIL1 является самым низким, для его выполнения достаточно наличия хорошего опыта разработок.

На основе стандарта IEC 61508 и серии связанных с ним стандартов в РФ опубликованы аутентичные ГОСТы по функциональной безопасности с десятилетним отставанием от международных. В 2012 г. они частично переработаны [13-19]. К сожалению, эти ГОСТы носят лишь рекомендательный характер.

Необходимо заметить, что проблемы функциональной безопасности в ЭЭЖС ещё не стали предметом пристального внимания как разработчиков систем автоматического регулирования на железной дороге, так и эксплуатационников.

5. Проблемы в сфере нормативно-технического регулирования в ЭЭЖС

Прежде чем заняться проблемами функциональной безопасности на электрифицированной железной дороге, необходимо навести порядок в сфере нормативно-технической документации в ЭЭЖС:

- развить систему стандартизации и нормативно-технического обеспечения в отрасли электроэнергетики;

- разработать и гармонизировать комплекты стандартов и других нормативно-технических документов, которые бы объединяли множество интеллектуальных цифровых вычислительных и коммуникационных технологий и электрических архитектур, а также связанных с ними установленных норм и процедур, процессов и услуг, которые функционально и информационно должны быть совместимы и обеспечивать необходимые показатели надежности, безопасности и качества.

Чтобы разрешить проблемы развития нормативно-технического регулирования в области ЭМС и энергоэффективности электрооборудования в ЭЭЖС, необходимо осуществить следующие мероприятия:

- обеспечить однозначное понимание объектов технического регулирования и стандартизации оборудования, работ, процессов и услуг на основе разработанных справочников-словарей унифицированных терминов и определений;

- гармонизировать необходимые национальные стандарты с международными и европейскими, являющимися доказательной базой

нормативно-технического обеспечения в процессах управления и реализации проектов, и внедрить их;

- разработать и ввести единый классификатор электрооборудования, позволяющий разработать стандартизованные показатели энергоэффективности и методов расчетов, учитывая географические и климатические условия;

- разработать эффективные унифицированные методы испытаний оборудования в соответствии с вышеописанными пунктами, а также реестр контрольно-измерительной аппаратуры в системах управления железнодорожным транспортом;

- регулярно проводить мониторинг устройств управления в ЭЭЖС и разрабатывать планы по совершенствованию её энергоэффективности и энергоресурсосбережению;

- создать хранилище данных нормативно-справочной информации, в том числе результатов мониторинга, анализа, статистики и инновационных инженерных решений в процессах изыскания, проектирования, строительства и эксплуатации объектов и сооружений железной дороги, т.е. по всему жизненному циклу.

Проблемы надёжности, живучести и безопасности в ЭЭЖС и связанные с ними проблемы ЭМС должны решаться комплексно. К сожалению, до последнего времени эти проблемы рассматривались либо независимо, либо с недостаточной полнотой. К сожалению, их решение в настоящее время находится в том же состоянии, как и решение аналогичных проблем в российской электроэнергетике [11].

До сих пор в электроэнергетике применяются устаревшие нормативно-технические документы и стандарты органов власти СССР и РСФСР, отраслевых институтов, а также документы РАО «ЕЭС России», разработанные много лет назад. Статус таких документов неоднозначен, поскольку часть из них носит рекомендательный характер, другие не прошли установленных процедур инкорпорирования в законодательство Российской Федерации. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору в своей деятельности руководствуется нормативно-техническими документами, перечень которых она сама утверждает ежегодно, что также не может быть признано правомерной практикой. Связано это с отсутствием процедуры принятия общепромышленных стандартов и финансирования их разработки. Нет нормативных документов, регулирующих вопросы надёжности, живучести и безопасности электроэнергетической системы и объектов электроэнергетики в условиях рыночных отношений, вступления России в ВТО, участия в Таможенном союзе и др.

Всё отмеченное является чрезвычайно актуальным для отдельных элементов, подсистем и в целом ЭЭЖС. Часть из рассмотренных вопросов отражены в протоколе совместного заседания научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС» и научного совета РАН по проблемам надежности и безопасности больших систем [12].

Федеральные законы «О техническом регулировании», «Об электроэнергетике», «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», «О безопасности объектов ТЭК», а также постановление правительства «О мерах по совершенствованию подготовки нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти, устанавливающих не относящиеся к сфере технического регулирования обязательные требования», а также изменения к ним, упорядочивают отдельные сферы регулирования, функционирования, безопасности, надежности и качества единой энергосистемы России и объектов электроэнергетики. Но они не устраняют системных проблем электроэнергетики в целом, дублирования и прямого противоречия правовых норм, пересечения полномочий и сфер ответственности федеральных органов исполнительной власти и т.д. Проблемы усугубляются значительным отставанием от Европейского союза и США в сфере стандартизации.

Естественно, что и разработка стандартов для электроэнергетики железных дорог находится в зачаточном состоянии.

Анализ, проведенный специалистами ФГБУ «РЭА» и «ВНИИНМАШ» Росстандарта, показал, что уровень гармонизации с международными и европейскими стандартами составляет, в среднем, лишь 23% (в Германии – 91%; в ЕС – 72%). Поэтому в отрасли неэффективно действует система технического регулирования, в которой стандарты должны играть основную доказательную базу в нормативно-правовых отношениях, как это происходит в Европейском союзе и США. В Штатах действуют более 600 организаций по стандартизации, в том числе в области электроэнергетики, отдельно – комитет по надежности электроэнергетики с полномочиями установления обязательных требований в стандартах. У нас практически не функционируют многие технические комитеты по стандартизации, созданные более 10 лет назад по различным направлениям электроэнергетики.

Проблема надежности и безопасности электроэнергетических объектов стала особенно актуальной после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС и взрыва на Баксанской ГЭС. Эти и другие тяжелые аварии на электростанциях, происшедшие ранее, показали, что в нашей стране не только технические причины приводят к катастрофам. Предпосылкой зачастую является отсутствие обязательных требований и государственных

ограничений, соответствующих стандартов в эксплуатации опасных промышленных объектов, в связи с этим нет и персональной ответственности должностных лиц за нарушение технических нормативов.

Стоит отметить, что в нашей стране научными работниками «Научно-исследовательского и конструкторского института энергетики им. Н.А. Доллежала» разработана современная управляющая система безопасности для объектов электроэнергетики с эффективной нормативной базой, составляющей основу технологической платформы безопасности и с соответствующей надёжностью в эксплуатации.

Такую технологию целесообразно использовать и при управлении ЭЭЖС. Система предполагает реализацию комплекса организационных и технических мер защиты на всех этапах жизненного цикла: разработка, изготовление, внедрение, эксплуатация, модернизация.

Из всего многообразия направлений обеспечения функциональной безопасности в области управляющих систем энергетических установок внимание уделяется, прежде всего, двум важнейшим взаимосвязанным аспектам:

- использованию при проектировании «директивных» принципов обеспечения функциональной безопасности;

- обеспечению качества на всех этапах жизненного цикла.

За последнее время был утвержден ряд нормативных документов. Однако принятые к 2011 г. меры нельзя считать достаточными для обеспечения надежности электроэнергетической системы и энергооборудования по следующим причинам:

- надежность, как важнейшая нормативно-техническая характеристика, не является обязательной;

- отсутствуют система стандартизации в отрасли и соответствующий организационно-методический институт, проведение работ по созданию нормативно-технических документов не скоординировано;

- нет отраслевой нормативно-технической базы и даже концепции и программы работ по стандартизации в отрасли;

- отсутствует регламентация отраслевых нормативно-технических документов и правил их утверждения, в том числе обязательных по проектированию и закупке энергооборудования, необходимого для обеспечения надежности и энергобезопасности.

6. Заключение

В докладе проанализировано состояние дел по обеспечению функциональной безопасности в ЭЭЖС. Установлено, что до настоящего времени работа по обеспечению функциональной безопасности

высококочувствительного электрооборудования в системах СЦБ железной дороги проводится недостаточно. Формально на базе стандарта IEC 61508 в Российской Федерации выпущены гармонизированные с ним ГОСТы [13-19], но они носят лишь рекомендательный характер к использованию. Кроме того, они не адаптированы к ЭЭЖС, имеющей существенную специфику по сравнению с устройствами стационарной энергетики. И, конечно, в них должны быть отражены ЭЭЖС, предполагающие использование магнитолевитационных технологий при организации электродвижения.

Библиографический список

1. Дэвид Дж. Смит. Функциональная безопасность. Простое руководство по применению стандарта МЭК 61508 и связанных с ним стандартов / Дэвид Дж. Смит, Кеннет Дж. Л. Симпсон - М.: Издательский Дом «Технологии», 2004. – 208 с.
2. Apollonskiy S. M., Starkhov V. G. Calculation of the penetration of EMF through a rectangular slot in a plane screen in the resonant frequency region //Telecommun., Radio Eng., 1991, vol. 46, no. 4, pp. 2–6. .
3. Гуревич В. И. Уязвимости микропроцессорных реле защиты: проблемы и решения. – М., 2014. – 256 с.
4. Theriault G., Goldberg E. T. & so on. Cancer Risks Associated with Occupational Exposure to Magnetic Fields among Electric Utility Workers in Ontario and Quebec, Canada and France: 1970 – 1989 //American Journal of Epidemiology 1994, v. 139, n. 6, pp. 550-571.
5. Плакс А. В. Электрические железные дороги /А.В. Плакс, В.П. Феоктистов, А.Н. Савоськин и др. – М.: Транспорт, 1993. – 278 с.
6. Марквардт Г. Г. Вычислительная и микропроцессорная техника в устройствах электрических железных дорог. – М.: Транспорт, 1989. – 286 с.
7. Косарев А. Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока. – М.: ИНТЕКСТ, 2004. – 272 с.
8. Кузнецов М. Входные цепи устройств РЗА. Проблемы защиты от мощных импульсных перенапряжений / М. Кузнецов, Д. Кунгуров, М. Матвеев, В. Тарасов // Новости электротехники, 2006, № 6 (42).
9. Чижма С. Н. Совершенствование методов и средств контроля качества электроэнергии и составляющих мощности в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой. Дисс. докт. техн. наук. – Омск, 2014. – 368 с.

10. A Summary of the IEC 61508 Standard for Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Programmable Electronic Safety-Related Systems. – Sellersville, PA 18960, USA. – 29 pp.

11. Карякин А. М. Энергетическая безопасность России в условиях рыночных отношений в электроэнергетике. – М., 2012. – 224 с.

12. Чмель А.В., Шкрабляк Н.С. Проблемы структурной модернизации системы управления предприятиями электроэнергетики России. – М.: НИЭБ, 2012. – 108 с.

13. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования.

14. ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам.

15. ГОСТ Р МЭК 61508-3-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 3. Требования к программному обеспечению.

16. ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения.

17. ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5. Рекомендации по применению методов определения уровней полноты безопасности.

18. ГОСТ Р МЭК 61508-6-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 6. Руководство по применению ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012 и ГОСТ Р МЭК 61508-3-2012.

19. ГОСТ Р МЭК 61508-7-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 7. Методы и средства.

References

1. Smith D. J. & Simpson K. J. L. *Funkcionalnaya bezopasnost. Prostoye rykovodstvo po primeneniu standartov MEK 61508 i svazaniy s nim standartov* [Functional safety. A simple guide on the use of IEC 61508 and related standards]. Moscow, 2004. 208 p.

2. Apollonskiy S. M. & Starkhov V. G. Calculation of the penetration of EMF through a rectangular slot in a plane screen in the resonant frequency region. *Telecommun., Radio Eng.*, 1991, vol. 46, no. 4, pp. 2-6.

3. Gurevich V. I. *Uyazvimosti mikroprocessornyx rele zashhity: problemy i resheniya* [Vulnerabilities microprocessor relay protection: problems and solutions]. Moscow, 2014. 256 p.

4. Theriault G. & Goldberg E. T. *American Journal of Epidemiology*, 1994, vol. 139, n. 6, pp. 550-571.

5. Crybaby A. V., Feoktistov V. P. & Savoskin A. N. *Elektricheskie zheleznyye dorogi*. [Electric Railways]. Moscow, 1993. 278 p.

6. G. Marquardt. *Vychislitel'naya i mikroprocessornaya texnika v ustrojstvax elektricheskix zheleznyx dorog vychislitel'naya i mikroprocessornaya texnika v ustrojstvax elektricheskix zheleznyx dorog* [The computing and microprocessor technology devices electric railways]. Moscow, 1989. 286 p.

7. Kosarev A. B. *Osnovy teorii elektromagnitnoj sovmestimosti sistem tyagovogo elektrosnabzheniya peremennogo toka* [Fundamentals of the theory of the electromagnetic compatibility of traction power supply AC]. Moscow, 2004. 272 p.

8. Kuznetsov M., Kungur D., Matveev M. & Tarasov V. *Novosti elektrotexniki – News of Electrical Engineering*, 2006, vol.42, no 6.

9. Chizhma S. N. *Sovershenstvovanie metodov i sredstv kontrolya kachestva elektroenergii i sostavlyayushhix moshhnosti v elektroenergeticheskix sistemax s tyagovoj nagruzkoy* [Improvement of methods for monitoring power quality and power components in power systems with traction load]. Diss. Doctor. tehn. Sciences. Omsk, 2014. 368 p.

10. A Summary of the IEC 61508 Standard for Functional Safety of Electrical / Electronic / Programmable Electronic Safety-Related Programmable Electronic Safety-Related Systems. Sellersville, PA 18960, USA. 29 pp.

11. Karjakin A. M. *Energeticheskaya bezopasnost rossii v usloviyax rynochnyx otnoshenij v elektroenergetike* [Energy security of Russia in the conditions of market relations in the power sector]. Moscow, 2012. 224 p.

12. Chmel A. & Shkrablyak N. S. *Problemy strukturnoj modernizacii sistemy upravleniya predpriyatiyami elektroenergetiki Rossii* [The problems of structural modernization of the enterprise management system of Russian power]. Moscow, 2012. 108 p

13. GOST R IEC 61508-1-2012. Functional safety systems, electrical, electronic, programmable electronic safety-related. Part 1: General requirements. *elektricheskie zheleznyye dorogi*

14. GOST R IEC 61508-2-2012. Functional safety systems, electrical, electronic, programmable electronic safety-related. Part 2: Requirements for systems.

15. GOST R IEC 61508-3-2012. Functional safety systems, electrical, electronic, programmable electronic safety-related. Part 3: Software requirements.

16. GOST R IEC 61508-4-2012. Functional safety systems, electrical, electronic, programmable electronic safety-related. Part 4. Definitions.

17. GOST R IEC 61508-5-2012 Functional safety systems, electrical, electronic, programmable electronic safety-related. Part 5. Application methods for determining the safety integrity levels.

18. GOST R IEC 61508-6-2012. Functional safety systems, electrical, electronic, programmable electronic safety-related. Part 6: Guidance on the application of IEC 61508-2-2012 GOST R and GOST R IEC 6150819. GOST R IEC 61508-7-2012. Functional safety systems, electrical, electronic, programmable electronic safety-related. Part 7: Methods and tools.-3-2012.

Сведения об авторе:

АПОЛЛОНСКИЙ Станислав Михайлович, доктор техн. наук, профессор, засл. деятель науки РФ, ведущий специалист по ТПС ОАО «Ленгипротранс»

E-mail: smapollon@yahoo.com

Information about author:

APOLLONSKIY Stanislav, Dr. Sci. Sciences, Professor, Honored Worker of Science, a leading expert on traction substations of Open Joint Stock Company "LENGIPROTRANS"

E-mail: smapollon@yahoo.com

Раздел 4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 005.342 (075)

Я. В. Соколова

Научно-образовательный центр инновационного развития пассажирских железнодорожных перевозок

Петербургского государственного университета путей сообщения

Императора Александра I

РИСКИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА СОЗДАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Дата поступления: 10.03.2016

Решение о публикации: 22.03.2016

Дата публикации: 28.03. 2016

Аннотация: В настоящее время инновации являются центральным фактором роста производства и производительности труда, уровень которой в свою очередь определяет конкурентоспособность конкретного производителя, отрасли или страны в целом в борьбе за экономическое лидерство. Благодаря прогрессу в технологиях и перманентной интенсификации информационных потоков в качестве центральной движущей силы экономического роста и развития инноваций рассматриваются знания. Инновационная модель экономического роста страны предполагает наличие способности не только производить новые знания, но и эффективно внедрять их в производство, используя создаваемые технологии и виды техники.

Разработанная учеными Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС) магнитолевитационная технология, объединившая достоинства известных технологий, может быть успешно внедрена при реализации проекта создания инновационной транспортно-логистической системы (ТЛС), предназначенной для грузовых контейнерных перевозок. Проект требует детализированного расчета затрат, оценки конкурентоспособности транспортно-логистической системы, а также финансового планирования в целях снижения рисков возникновения кассовых разрывов и покрытия непредвиденных расходов. При этом необходимо рассмотреть внешние и внутренние риски, оказывающие влияние на проект на всех стадиях его продвижения и реализации.

Выявление рисков и причин их возникновения позволит определить степень устойчивости проекта к изменениям внешней и внутренней среды под воздействием неблагоприятных факторов (инфляция, конкуренция, нехватка финансирования и квалифицированного персонала и др.).

Ключевые слова: инновационный проект, риски, магнитолевитационная технология, транспортно-логистическая система

Yana V. Sokolova

Scientific and educational center of innovative development of passenger rail transportation of Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I
**RISKS PROJECT IMPLEMENTATION
TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM
ON MAGLEV TRANSPORTATION TECHNOLOGY
OF INNOVATION**

Abstract: Currently, innovation is a central factor in the growth of production and productivity, the level of which in turn determines the competitiveness of a specific manufacturer, or industry of the country as a whole in the struggle for economic leadership. With the advancement in technology and the permanent intensification of information flows as the central driving force of economic growth and development of innovations are considered knowledge. Innovative model of economic growth requires a capacity not only to produce new knowledge, but also to implement them effectively in production, created using technologies and types of equipment.

Developed by scientists of the Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I (PSTU) maglev transportation technology combine the advantages of conventional techniques can be successfully implemented in the implementation of the project to create an innovative transport and logistics system (TLS), intended for cargo container traffic. The project requires a detailed cost calculation, assessing the competitiveness of transport and logistics system, as well as financial planning in order to reduce the risk of cash shortages and unforeseen expenses. It is necessary to consider the internal and external risks affecting the project at all stages of its implementation and promotion.

Identify risks and their causes will determine the degree of sustainability of the project to changes in internal and external environment under the influence of adverse factors (inflation, competition, lack of funding and qualified staff, etc.).

Keywords: innovation project, rusks, maglev transportation technology, transport and logistics system

Введение

Формирование устойчивого роста экономики в долгосрочной перспективе возможно при условии повышения спроса на реализацию научного потенциала и широкого спектра технологий, инвестиционной и инновационной активности в технологически передовых отраслях. Этому должно способствовать становление эффективного инновационного воспроизводственного цикла российской экономики на основе оптимального использования всех элементов, факторов и механизмов, включенных в целостный контур интеграции технологической структуры,

технологических укладов, модернизированной техники, действующего производственного потенциала, производительной силы человека, современных базовых нововведений. Российская экономика как никогда нуждается в новых технологиях [2].

Магнитолевитационная технология для грузоперевозок

Имеющийся научный, инженерный, технологический потенциал позволяет разработать и предложить обществу отечественную магнитолевитационную транспортную технологию для транспортировки грузов на дальние, в том числе трансконтинентальные, расстояния с высокой скоростью, эффективностью и экологической безопасностью [1].

Внедрение инновационной технологии при реализации проекта создания ТЛС обслуживания контейнерных потоков между морскими портами Санкт-Петербурга, Ленинградской области и терминально-логистическими центрами г. Москвы позволит оптимизировать порядок выполнения операций, снижающих риски при транспортировке, а также временные и финансовые затраты на доставку грузов до грузополучателей. Создаваемая ТЛС направлена на радикальное повышение эффективности ее функционирования для всех участников логистического процесса, снижение народнохозяйственных затрат и создание технико-технологического задела для реализации аналогичных проектов на российском и зарубежных рынках.

Риски реализации инновационного проекта

Реализация инновационного проекта сопряжена с рядом сложностей, вызванных вопросами определения ресурсов, сроков и исполнителей. Отличительной чертой инновационных проектов является наиболее высокий риск, в сравнении с другими проектами. Проекты, ориентированные на будущее, т. е. нацеленные на разработку и внедрение новых технологий и услуг, характеризуются неопределенностью достижения экономических результатов. Выявление рисков и причин их возникновения позволит минимизировать их влияние на реализацию проекта.

Оценка рисков реализации проекта является одним из важнейших элементов управления инновационными проектами. При создании ТЛС с применением магнитолевитационной технологии возникает ряд внешних и внутренних рисков, способных оказать значительное влияние на реализацию проекта [4]. Их систематизация осуществлена в табл. 1.

Таблица 1. Риски реализации проекта

Вид риска	Сущность риска	Вероятность проявления	Сила влияния
Внешние риски			
Политические риски			
Риск противодействия проекту со стороны государственных органов	В результате непринятия общей концепции магнитной левитации, лоббирования и иных причин 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 т. ч. уже после частичного освоения средств	низкая	сильная
Риск увеличения объемов государственной поддержки конкурентным видам транспорта	В целях снижения народнохозяйственных затрат государство может увеличить объем дотаций ОАО «РЖД», снизить ставку транспортного налога для автоперевозчиков, что приведет к росту конкурентоспособности железнодорожного и автомобильного транспорта и снижению объемов транспортировки по магнитолевитационной магистрали	низкая	слабая
Макроэкономические риски			
Риск снижения деловой активности	Кризисные явления в экономике, развитие режима эмбарго могут привести к резкому снижению контейнеропотока через порты Ленинградской области и снижению объемов	средняя	сильная

	транспортировки по магнитолевитационной магистрали		
Инфляционный риск	Существенный рост инфляции может увеличить затраты на реализацию проекта, изменить тарифный ландшафт, снизить общий уровень потребления в стране, что может привести к снижению конкурентоспособности проекта вследствие его удорожания, а также объемов транспортировки по магнитолевитационной магистрали	средняя	сильная
Курсовой риск	Ослабление рубля может негативным образом повлиять на платежеспособность создаваемой компании при необходимости возврата заемных средств, номинированных в иностранной валюте, а также привести к удорожанию проекта при использовании зарубежных материалов и комплектующих	высокая	слабая
Технологические риски			
Отсутствие технологий, необходимых для производства компонентов ТЛС	Российские производители могут не обладать достаточными технологическими и производственными ресурсами для производства компонентов ТЛС, что повлечет за собой потребность в проведении дополнительных разработок или поиске зарубежных аналогов; при этом возможна существенная задержка в сроках реализации проекта в виду новизны технологии	высокая	средняя
Конкурентные риски			
Демпинг на рынке	При появлении сильного	средняя	средняя

перевозок	конкурента автомобильные перевозчики могут снижать цену (в т. ч. за счет использования бесплатной трассы Санкт-Петербург - Москва), железнодорожный транспорт осуществлять перекрестное финансирование направления или получать дотации от государства, что снизит ожидаемый объем выручки от деятельности магнитолевитационной магистрали		
Недобросовестная конкуренция	Распространение заведомо ложной информации о потребительских свойствах услуг перевозчиков, а также негативной информации о магнитолевитационной технологии может навредить имиджу проекта и снизить его привлекательность при выборе вида транспорта для перевозки грузов	средняя	слабая
Внутренние риски			
Финансовые риски			
Риск нехватки средств на обеспечение текущих потребностей	На начальном этапе функционирования магистрали могут возникать кассовые разрывы, вызванные недозагрузкой мощностей и неравномерностью перевозок по времени, что может привести к недостаточной ликвидности	средняя	средняя
Кадровые риски			
Риск отсутствия в достаточной степени квалифицированного персонала	В связи с отсутствием в РФ практики использования магнитолевитационного транспорта возможна нехватка квалифицированного персонала во всех звеньях организационной	высокая	сильная

	структуры, в результате чего потребуются существенные затраты на подготовку персонала		
Риск осложнения организации обучения персонала	Отсутствие практики использования магнитолевитационного транспорта может привести к необходимости повышения квалификации обучающего персонала или поиску возможностей обучения персонала за рубежом, что приведет к удорожанию проекта и замедлению его реализации	низкая	слабая
Инвестиционные риски			
Риск неправильной оценки объема потребных инвестиций	Вследствие уникальности технологии отсутствуют аналоги, на основании которых возможно достоверно оценить размер инвестиционных вложений; аналоги, работающие в других странах, имеют существенные отличия, не позволяющие осуществить достоверную оценку, что может привести к ошибкам при расчете инвестиционных потребностей	средняя	сильная
Риск ошибок в выборе объектов инвестиций	Потенциальная вариативность технологических решений по проекту может привести к выбору неоптимальных технологий, что будет способствовать увеличению инвестиционных потребностей	низкая	сильная
Производственные риски			
Риск нарушений производственного процесса	В условиях недостаточной отладки технологического процесса возможно возникновение нештатных ситуаций, приводящих к нарушению ритмичности движения, что может привести как	средняя	сильная

	к затратам на устранение неполадок, так и к ухудшению имиджа проекта в целом		
Маркетинговые риски			
Риск неправильной оценки спроса на услуги	В результате воздействия внешних факторов проведенная оценка спроса может оказаться завышенной, что приведет к снижению финансовых показателей проекта, а также избыточным инвестициям в подвижной состав (включая объекты его обслуживания) и пропускную способность магистрали	низкая	сильная
Риски продвижения услуг	При разработке стратегии продвижения услуг возможны ошибки в выборе используемых методов, недооценка потребностей участников рынка, в связи с чем основные параметры будут достигнуты позже планируемого срока	низкая	средняя
Сбытовые риски			
Риск выбора неправильных каналов сбыта	Ошибки при выборе каналов сбыта могут привести к непроизводительным издержкам на развитие каналов, а также замедлить достижение основных параметров проекта	низкая	средняя

Как видно из таблицы, реализация проекта имеет существенное количество рисков, что требует разработки комплекса мероприятий по управлению рисками.

При поиске источников финансирования необходимо проводить политику сбалансированности сохранения динамичных темпов инновационного развития с учетом рисков использования различных источников финансирования и возможностей привлечения средств. Логичным представляется заключение концессионного соглашения о создании ТЛС на принципе магнитной левитации между государством и рядом частных инвесторов. От государства потребуется политическая воля

и публичное подтверждение значимости такого транспортного объекта для России, как головного участка транспортной системы «Север – Юг», «Запад – Восток», а также выделение земли для размещения линии [3].

Важным для реализации проекта является поиск поставщиков ресурсов, совместного развития производств необходимых компонентов технологии, материалов, необходимых для транспортной платформы. Особое внимание следует уделить вопросам формирования компетенций персонала, организации производственного обучения.

Для реализации инновационных проектов требуются различные виды ресурсов: финансовые, материальные, трудовые, организационные, а также административные.

Ввиду уникальности проекта для управления рисками, в первую очередь, требуется комплексный подход к стратегическому планированию и разработке стратегии реализации проекта.

Заключение

Проект создания ТЛС с применением магнитолевитационной технологии требует детализированного расчета затрат, оценки конкурентоспособности нового вида транспорта, выработки комплекса конкретных мероприятий по минимизации влияния внешних и внутренних рисков.

Управлять рисками, связанными с внедрением и продвижением инноваций на рынок, достаточно сложно, особенно принимая во внимание высокую долю неопределенности. Тем не менее, анализ рисков и их систематизация поможет выработать инструменты по управлению рисками.

Библиографический список

1. Антонов Ю. Ф. Магнитолевитационная транспортная технология / Ю. Ф. Антонов, А. А. Зайцев. – М.: Физматлит. – 2014. – 476 с.
2. Зайцев А. А. Отечественная транспортная система на основе магнитной левитации / А. А. Зайцев // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2015. – № 6. – С. 22–27.
3. Зайцев А. А. Транспорт на магнитном подвесе // А. А. Зайцев, Я. В. Соколова, Г. Н. Талашкин. – СПб.: ПГУПС. – 2010. – 160 с.
4. Зайцев А. А. Вопросы оценки эффективности инновационного проекта создания грузовой магнитолевитационной магистрали / А. А. Зайцев, Я. В. Соколова // Инновации в современном мире: сборник

статей Международной научно-практической конференции. – М.: РИО ЕФИР. – 2015. – С. 130–136.

5. Соколова Я. В. Проектное управление развитием пассажирской железнодорожной компании: дисс. канд. экон. наук. – СПб.: ПГУПС. – 2015. – 154 с.

6. Быковский В. В. Управление инновационными проектами и программами / В. В. Быковский, Е. С. Мищенко, Е. В. Быковская и др. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ. 2011. – 104 с.

7. Powell J. Maglev: The New Mode of Transport for the 21st Century / J. Powell, G. Danby [Электронный ресурс]. – Код доступа: <https://www.21stcenturysciencetech.com/articles/Summer03/maglev2.html> (дата обращения 01.03.2016).

8. Rodd D. Technical and economic comparison of high-speed-rail and maglev systems / D. Rodd // *Railway Technical Review*. – 2006. – № 1. – pp. 8-18.

References

1. Antonov Yu. F. & Zaitsev A. A. *Magnitolevitacionnaya transportnaya texnologiya* [Magnet levitation transport technology]. St. Peterburg 2014. 476 p.

2. Zaitsev A. A. *Byulleten obedinennogo uchenogo soveta oao "RZHD" - Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC "RZD"* 2015, no. 6, pp. 22- 27.

3. Zaitsev A. A., Talashkin G. N. & Sokolova Ya. V. *Transport na magnitnom podvese* [Magnetic suspension transport]. St. Petersburg, 2010. 160 p.

4. Zaitsev A. A. & Sokolova Ya. V. *Voprosy ocenki effektivnosti innovacionnogo proekta sozdaniya gruzovoj magnitolevitacionnoj magistrali* [Issues assess the effectiveness of an innovative project to create a cargo line on maglev transportation technology]. *Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Innovacii v sovremennom mire"* (Proceedings of the International scientific-practical conference "Innovations in the modern world"). Moscow, 2015, pp. 130-136.

5. Sokolova Ya. V. *Proektnoe upravlenie razvitiem passazhirskoj zheleznodorozhnoj kompanii: diss. kand. ekon. nauk* [Projective management of the development of the passenger railway companies: The dissertation the Candidate of Economic Sciences]. St. Petersburg, 2015. 154 p.

6. Bykovsky V. V., Mishchenko E. S. & Bykovskaya E. V. *Upravlenie innovacionnymi proektami i programmami* [Management of innovative projects and programs]. Tambov, 2011. 104 p.

7. Powell J. & Danby G. *Maglev: The New Mode of Transport for the 21st Century* [Electronic resource].

URL:<https://www.21stcenturysciencetech.com/articles/Summer03/maglev2.html> (01/03/2016).

8. Rodd D. *Railway Technical Review*, 2006, no. 1, pp. 8-18.

Сведения об авторе:

СОКОЛОВА Яна Викторовна, кандидат экономических наук, заместитель руководителя Научно-образовательного центра инновационного развития пассажирских железнодорожных перевозок Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I», E-mail: nozpgups@gmail.com

Information about author:

Yana V. SOKOLOVA, Candidate of Economic Sciences, Deputy Head of Scientific and educational center of innovative development of passenger rail transportation of Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, E-mail: nozpgups@gmail.com