

ISSN 2413-9203

# ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

рецензируемый научный журнал

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

[transsyst.ru](http://transsyst.ru)

**ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ**  
**TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY**
**Выпуск 1 (7), 2017**  
**Issue 1 (7), 2017**

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

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

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

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

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

**Редактор сайта** А. Ю. Дитрихс  
**Online content editor** A. Yu. Ditrjhs

**Перевод на английский язык** В. В. Шматченко, кандидат технических наук, доцент  
**English translation** V. V. Shmatchenko, Ph.D., Associate Professor, Petersburg State Transport University

**Литературное редактирование и корректура** И. М. Шейнман  
**Editing and proofreading** I. M. Scheinman

**Верстка** Т. С. Антонова  
**Layout** T. S. Antonova

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

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

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

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

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации** Эл№ФС77-53673 от 17.04.2013 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

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

**Журнал имеет институт рецензирования**  
 The Journal has the Peer-review division

**Журнал распространяется через Интернет без ограничений и по адресно-целевой подписке через редакцию**  
 The Journal is distributed via Internet for free and by subscription via Editorial office

**Минимальные системные требования**  
 Тип компьютера, процессор, сопроцессор, частота: Pentium IV и выше; оперативная память (RAM): 256 Мб и выше; необходимо на винчестере: не менее 64 Мб; ОС MacOS, Windows (XP, Vista, 7); видеосистема: встроенная; дополнительное ПО: Adobe Reader версия от 7.X или аналог.

**Защита от незаконного распространения:** реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat

**Защита от незаконного распространения:** реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat

**Защита от незаконного распространения:** реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat

**Защита от незаконного распространения:** реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat

**Защита от незаконного распространения:** реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat

**Защита от незаконного распространения:** реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat

**Защита от незаконного распространения:** реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat

**Защита от незаконного распространения:** реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat

**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

**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

**Панычев 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

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

**Файл 1** – рукопись научной статьи в формате MS Word.

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

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

**Файл 4** – информация об авторах:

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

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

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

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

**Файл 8** – лицензионный договор.

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

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕКСТУ

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

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

**Формат страницы** – А4; каждое поле – 2,5 см; абзацный отступ – 1 см; размер шрифта 14, выравнивание по левому краю; автор (авторы) с указанием места обучения или работы – размер шрифта 14, полужирное начертание, выравнивание по левому краю; название рукописи – размер шрифта 14, заглавные буквы, полужирное начертание, выравнивание по левому краю; аннотация, ключевые слова – размер шрифта 12, выравнивание по ширине. Требуемый объем **аннотации** – не менее 500 знаков. В аннотации должны быть указаны предмет, тема, цель работы, метод или методология проведения работы, результаты работы, область применения результатов, выводы. Текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т. д. Одним из проверенных вариантов аннотации является краткое повторение в ней структуры статьи, включающей введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение.

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

Ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках.

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

**Внимание!** Рисунки и формулы не должны быть сканированными!

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

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

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

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

## Содержание

### Раздел 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

<b>Зайцев А. А.</b>	Магнитолевитационный транспорт: Ответ на вызовы времени	5
<b>Милованова Е. А., Любченко И. А.</b>	Разработка подходов создания научно-исследовательского комплекса железнодорожного транспорта	14
<b>Аксенов Н. А.</b>	Maglev: как новый этап развития высокоскоростного транспорта	24
<b>Антонов Ю. Ф., Ли В., Краснов А. С.</b>	Сверхзвуковой наземный транспорт в разреженной среде ограниченного пространства: Прорывное или тупиковое направление	35

### Раздел 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

<b>Казначеев С. А., Зименкова Т. С., Краснов А. С.</b>	Сравнительный анализ вариантов сборок магнитных полюсов на основе массива Хальбаха	47
<b>Поляков В. А., Хачапуридзе Н. М.</b>	Интегративная модель тяговой силы магнитолевитирующего поезда	58

### Раздел 3. БЕЗОПАСНОСТЬ

<b>Аполлонский С. М.</b>	Особенности сочетанного воздействия на техносферу физических факторов волновой природы на электрифицированном железнодорожном транспорте	69
--------------------------	---	----

### Раздел 4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

<b>Трегубова А. М., Привалов Н. Г., Привалова С. Г.</b>	Особенности управления затратами авиакомпании: теоретические основы	91
<b>Смирнов С. А., Смирнова О. Ю.</b>	Экономические аспекты грузового магнитолевитационного транспорта	108

# CONTENTS

## Section 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

<b>Zaytsev A. A.</b>	Magnetothevitational transport: response to time challenges	5
<b>Milovanova E. A., Lyubchenko I. A.</b>	The development of approaches of creation of research complex of railway transport	14
<b>Aksenov N. A.</b>	Maglev: as a new stage of high-speed transport development	24
<b>Antonov Yu. F., Li V., Krasnov A. S.</b>	Supersonic land transport in the disturbed environment of the limited space: breakthrough or direct direction	35

## Section 2: SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENT

<b>Kaznacheev S. A., Zimenkova T. S., Krasnov A. S.</b>	Comparative analysis of variants of magnetic pole collection based on the halbach massif	47
<b>Polyakov V. A., Hachapuridze N. M.</b>	Integrative model of a magnetically levitated train's traction force	58

## Section 3. SAFETY

<b>Apollonskiy S. M.</b>	Features of combined effects of physical factors of wave nature on electrified railway transport on technosphere	69
--------------------------	--	----

## Section 4. ECONOMIC ASPECTS

<b>Tregubova A. M., Privalov N. G., Privalova S. G.</b>	The features of costs management at an airline: heoretical basics	91
<b>Smirnov S. A., Smirnova O. Yu.</b>	Economic features of freight maglev transport	108

## Раздел 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

УДК: 338.28

**А. А. Зайцев**

Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I

### МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ: ОТВЕТ НА ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ

Дата поступления: 20.04.2017

Решение о публикации: 27.04.2017

Дата публикации: 30.04.2017

**Аннотация:** В статье обосновывается необходимость и возможность создания в России транспортной системы на новой технологической основе – магнитной левитации с линейными тяговыми двигателями.

Показано, что спектр применения магнитолевитационной технологии может дать стране существенные экономические выгоды. Предложен алгоритм действий по освоению научных и инженерных разработок в промышленном масштабе.

**Ключевые слова:** Стратегия развития транспорта, магнитная левитация, транспортные коридоры

**Anatoly A. Zaitsev**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

MAGNETOTHEVITATIONAL TRANSPORT: RESPONSE TO TIME  
CHALLENGES

**Abstract:** The article substantiates the necessity and possibility of creating a transport system in Russia based on new technology - magnetic levitation with linear traction motors.

It is shown that the spectrum of magnetic levitation technology can provide significant economic benefits to the country. It is proposed the creation algorithm of scientific and engineering developments in the industrial scale.

**Keywords:** Strategy for the development of transport, magnetic levitation transport corridors

### Введение

В политических, инженерных, предпринимательских кругах утвердилось мнение о необходимости создания межстрановых и

межконтинентальных транспортных коридоров в направлениях Восток – Запад и Север – Юг по территории России.

Это мнение основывается на результатах происходящих процессов глобализации мировой экономики, которые сопровождаются ускорением темпов перемещения капиталов, материалов и людских ресурсов. Стремительными темпами развиваются центры промышленного производства в Азии и Юго-восточной Азии – в Китае, Индии, Индонезии, Малайзии, Таиланде и т. д. В этой связи резко повышается роль транспортных связей, которые должны обеспечивать бесперебойную и своевременную доставку сырья и готовой продукции в различные уголки мира.

### **Транспортные системы для межстрановых и межконтинентальных перевозок на основе магнитной левитации**

По итогам российско-индийских переговоров на уровне Президента России В. В. Путина и премьер-министра Индии Нарендра Моди было сделано заявление: «Признавая исключительную важность взаимосвязанности для наращивания двусторонней торговли, Стороны приветствовали рост внимания к реализации проекта международного транспортного коридора «Север – Юг» (МТК), который может стать одним из ключевых факторов углубления экономической интеграции в регионе благодаря сокращению сроков транспортировки товаров» [2]. Страны-партнеры поддерживают усилия Российской Федерации по созданию обозначенных сухопутных транспортных коридоров. Одна из веских причин – это политическая и экономическая стабильность на территории РФ, что гарантирует безопасность и надежность перевозки. Иран приступил к модернизации своей части транспортного коридора Север-Юг и с помощью российских специалистов увеличит провозную способность 470-километровой линии с одного до десяти миллионов тонн в год [4].

Российская Федерация является естественным «мостом» между Востоком и Западом, Севером и Югом, может стать транзитером и создать новый для страны экспортный продукт – транзитные перевозки.

По расчетам Института экономики РАН, транзит по территории России может приносить доход, сравнимый с доходом от продажи всех углеводородов [1].

Стратегия развития транспорта РФ до 2030 г. не дает ответа на этот вызов времени. Современный российский железнодорожный транспорт не может взять на себя дополнительную нагрузку по своим ограничительным параметрам (скорости движения, провозной и пропускной способности). Она предусматривает ограниченные объемы модернизации сети, что обеспечит лишь возрастающие внутренние перевозки к российским портам

и несколько улучшит ситуацию с подвижностью населения за счет строительства высокоскоростных магистралей. Необходим прорыв, рывок в транспортной технологии, создание транспортных технологий, соответствующих наступающему новому технологическому укладу.

На наш взгляд, в Стратегию развития транспорта РФ до 2030 года и дальнейшую перспективу следует внести следующие стратегические цели опережающей модели развития транспорта:

- создать транспортные коридоры Восток – Запад, Север – Юг, кратно превышающие по провозной способности существующие магистрали за счет применения инновационной транспортной технологии;
- сделать частный капитал основой финансирования проектов опережающей модели развития.

### **Конструкция магнитолевитационной системы для транзитных транспортных коридоров**

В Санкт-Петербурге выполнен комплекс исследований на основе компьютерного и натурного моделирования. Для апробации найденных решений создана полномасштабная конструкция грузовой магнитолевитационной платформы (рис. 1) для перевозки контейнеров.

Характеристика магнитолевитационной платформы:

- грузоподъемность – 50 т;
- перманентный (непрерывный) режим левитации;
- ускорение и замедление – 0,5 м/с<sup>2</sup>;
- мощность тягового двигателя в штатном режиме – 240 кВт;
- минимальный радиус поворота – 100 м;
- система может работать при любой естественной температуре.

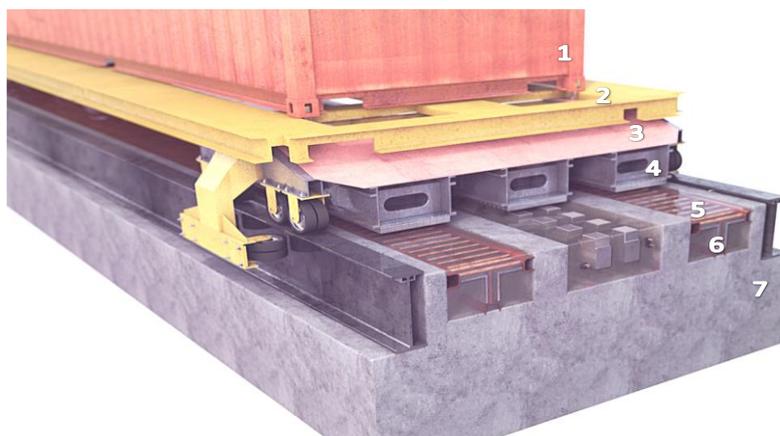


Рис. 1. Основные элементы магнитолевитационной системы для транспортных коридоров: 1 – контейнер; 2 – фитинговая рама; 3 – модельная несущая тележка; 4 – магнитный полюс; 5 – трек левитации; 6 – трек стабилизации; 7 – путевая структура

Конструкция выполнена с разделением системы левитации и системы движения (линейный тяговый двигатель) для наглядности при демонстрации магнитолевитационной технологии и исследования процессов деградации магнитных сборок в условиях открытой внешней среды. Двухлетние испытания подтвердили правильность выбора постоянных магнитов для конструирования комбинированных систем подвеса. За этот период накоплен бесценный опыт расчета и формирования однородных магнитных полей, расчета конструкций (сборок) из постоянных элементарных магнитов для обеспечения потребностей всех известных и возможных в будущем требований по грузоподъемности.

Итогом многолетней работы является зафиксированный протоколом вывод о завершении работ по компьютерному и натурному моделированию и возможности перехода к строительству реального участка магнитолевитационной магистрали.



Рис. 2. Министр транспорта РФ М. Ю. Соколов знакомится с конструкцией грузовой магнитолевитационной транспортной платформы

## Экономика магнитолевитационных магистралей

В текущем году опубликован проект института экономики РАН «Единая Евразия: новый Транссиб» на классической технологии «колесо-рельс» [3].



Рис. 3. Проект «Единая Евразия: новый Транссиб»

В ПГУПС произведены расчеты показателей магнитолевитационной трассы Санкт-Петербург – Москва – Владивосток. Сравнение капитальных вложений представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение капитальных вложений в строительство трасс

Представленные расчеты	Трасса	Протяженность, км	Размер капитальных вложений, трлн. руб.	Затраты на 1 км, млрд. руб.
Институт экономики РАН: для классической технологии «колесо-рельс»	Берлин – Владивосток	9 600	18,0	1,89
ПГУПС: Для трассы на магнитолевитационной технологии	Санкт-Петербург – Владивосток	8 126	5,928	0,72

Единовременные затраты на строительство магнитолевитационной трассы (из расчета на 1 км) в 2,5 раза ниже, чем представленные Институтом экономики РАН. Как говорится в русской поговорке, «не так страшен черт, как его малюют».

Для более детального рассмотрения экономической целесообразности создания транспортных коридоров на магнитолевитационной технологии в ПГУПС разработано технико-экономическое обоснование магистрали от портов Финского залива (Санкт-Петербург) до грузовых терминалов Москвы. Линия рассматривается как головной участок межконтинентальной системы Север – Юг, Восток – Запад по территории России.



Рис. 4. Схема предварительного варианта трассы от портов Санкт-Петербурга до терминалов Москвы

Выбор головного участка обусловлен устойчивым контейнерным потоком и подготовленностью будущей трассы, необходимостью убрать мощный грузовой автомобильный поток из города. Результаты расчетов

стоимости жизненного цикла, сравнение затрат с классической железной дорогой при одинаковой нагрузке показали, что стоимость жизненного цикла в пересчете на один год эксплуатации почти втрое ниже, чем для железнодорожной магистрали.

*Таким образом, магнитолевитационная технология в России является инвестиционно привлекательной для магистральных линий.*

*Поступают предложения от инвесторов, которых привлекает, с одной стороны, престиж таких проектов и их общественное признание, с другой стороны – коммерческий интерес.*

Таким образом, магнитолевитационная транспортная система для протяженных магистралей (межстрановых и межконтинентальных транспортных коридоров), являясь инновационным этапом развития железнодорожной системы, дает существенные преимущества по ключевым показателям в сравнении с классической технологией «колесо-рельс»:

- гарантированная безопасность;
- высокая экологическая безопасность;
- энергоэкономичность;
- существенно более низкая стоимость перевозки.

### **Место России в мировом процессе создания магнитолевитационных транспортных систем**

Оценкой места России в мировом процессе создания магнитолевитационных транспортных систем служат результаты Всемирного конгресса Maglev2016 в Берлине.

В сентябре 2016 г. в Берлине прошел очередной 23-й Всемирный конгресс Maglev 2016. В конгрессе приняли участие представители 22 стран, более двухсот участников, представлено более полусотни докладов.

Участники Maglev 2016 ожидали сенсаций от американских компаний, широко разрекламировавших проект HyperLoop для всего мира, и России прежде всего. В докладах по данному проекту, представленных участниками из США, собственные серьезные разработки в области как левитации, движения, так и создания вакуума не просматриваются.

Российская делегация достойно представила страну, озвучив шесть докладов по итогам национальных исследований, инженерных разработок, проектов глобальных магнитолевитационных транспортных систем. Участники конгресса тепло приветствовали возвращение российской магнитолевитационной науки в мировое сообщество, постоянно подчеркивая, что Россия – родоначальница науки и практики движения без колес и крыльев. В научных, инженерных и коммерческих аспектах магнитолевитационного движения российские ученые и инженеры выступают на равных с мировым сообществом. *Преимуществом западных*

*партнеров является наличие серьезной государственной поддержки на идеологическом и финансовом уровнях.*

Российская делегация была в центре внимания, и управляющий комитет Maglev принял решение доверить проведение очередного, 24-го Всемирного конгресса Maglev 2018 в России.

На наш взгляд, это великое для всех нас международное признание.

Приглашаем всех заинтересованных ученых, специалистов, бизнесменов принять участие в подготовке и проведении столь значимого научно-практического международного форума.

Развитие магнитолевитационной транспортной технологии в России набирает обороты. В ПГУПС при поддержке губернатора Санкт-Петербурга Г. С. Полтавченко сформирован кластер по продвижению транспортной магнитолевитационной технологии на коммерческий рынок. Постепенно проявляется интерес и у ведомств на федеральном уровне.

### **Заключение**

1. Российская Федерация имеет возможность стать лидером новой парадигмы развития межстрановых и межконтинентальных транспортных систем на основе магнитолевитационной технологии.

2. Научные, инженерные разработки позволяют перейти к практическому проектированию и строительству пилотных магистральных и городских линий на коммерческой основе.

3. Необходима поддержка российских разработчиков на институциональной основе.

### **Библиографический список**

1. Зайцев А. А. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны /А. А. Зайцев, Я. В. Соколова, Е. И. Морозова, Г. Н. Талашкин. – СПб.: Изд-во ООО «Типография «НП-Принт», 2015.

2. Партнерство ради мира и стабильности на планете». Совместное заявление по итогам визита Президента Российской Федерации В. В. Путина в Республику Индию – URL: <http://www.indianembassy.ru/index.php/ru/media-news/press-releases/1740-2016-10-15-13-44-57> (дата обращения 17.10.2016).

3. Стефанов А. Что такое «Единая Евразия» // Комсомольская правда, 25 августа 2016 г.

4. Транзиту добавят энергии // Гудок. – 2016. – № 225.

## References

1. Zajcev A. A., Sokolova Ya. V., Morozova E. I. & Talashkin G. N. Magnitolevitacionnyj transport v edinoj transportnoj sisteme strany [Magnitovlevit transport in the unified transport system of the country]. St. Petersburg, 2015.
2. Partnerstvo radi mira i stabil'nosti na planete. Sovmestnoe zayavlenie po itogam vizita Prezidenta Rossijskoj Federacii V. V. Putina v Respubliku Indiyu [Partnership for peace and stability on the planet. Joint statement following the visit of President of the Russian Federation Vladimir Putin to the Republic of India] – URL: <http://www.indianembassy.ru/index.php/ru/media-news/press-releases/1740-2016-10-15-13-44-57> (17/10/2016).
3. Stefanov A. Chto takoe «Edinaya Evraziya». Komsomol'skaya pravda [What is "United Eurasia". Komsomolskaya Pravda], August 25, 2016.
4. Tranzitu dobavyat ehnergii. Gudok [Transit will add energy. Toot]. 2016, no. 225.

### **Сведения об авторе:**

ЗАЙЦЕВ Анатолий Александрович, доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика транспорта», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
E-mail: nozpgups@gmail.com

### **Information about authors:**

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

УДК 629.4

**Е. А. Милованова, И. А. Любченко**

Иркутский государственный университет путей сообщения

## **РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ СОЗДАНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Дата поступления: 20.03.2017

Решение о публикации: 27.03.2017

Дата публикации: 30.04.2017

**Аннотация:** Предложены способы организации процесса научных исследований на железнодорожном транспорте при достижении высокой точности объективной оценки динамики железнодорожного подвижного транспортного средства во всем диапазоне изменения измеряемых параметров, с использованием опыта поточных исследований динамики летательных аппаратов, и адаптацией этого опыта к объекту исследования.

**Ключевые слова:** поточные исследования, взаимодействие пути и подвижного состава, динамические характеристики, экипажная часть.

**Evgeniya A. Milovanova, Irina A. Lyubchenko**

Irkutsk State Transport University

THE DEVELOPMENT OF APPROACHES OF CREATION OF RESEARCH COMPLEX OF RAILWAY TRANSPORT

**Abstract:** The ways of organizing the research process in railway transport in achieving a high precision objective evaluation of dynamics of railway rolling stock vehicles throughout the range of variation of the measured parameters, using the experience of flow studies of the dynamics of aircraft, and adapting that experience to the object of study.

**Keywords:** stream study, the interaction paths and rolling stock, dynamic characteristics, undercarriage part.

### **Введение**

С целью достижения высокой точности объективной оценки динамики железнодорожного подвижного транспортного средства во всем диапазоне изменения измеряемых параметров, использован опыт поточных исследований динамики летательных аппаратов [1-4], с адаптацией этого опыта к объекту исследования. Однако, адаптация привлекаемых математических моделей к исследованию динамических характеристик

объектов, реализующих в процессе движения большое количество степеней свободы (каковыми, например, являются железнодорожные подвижные транспортные средства) [5], затруднена в связи с чисто техническими трудностями, обусловленными:

- сложностью и трудоемкостью математических вычислений;
- необходимостью предварительного определения большого количества коэффициентов уравнений, зачастую являющихся нелинейными;
- погрешностью вычислений, предопределенной принимаемыми упрощениями.

## Поиск решения

Облегчение поиска решения этой задачи осуществляется путем рассмотрения частных задач движения в горизонтальной и вертикальных плоскостях [6, 7].

Приведем алгоритм решения одной из частных задач движения, например бокового движения транспортного средства, отвечающий предлагаемой методике поточных исследований. Суммирование решений частных задач, полученных по аналогичному алгоритму, даст возможность обобщения полной картины поведения динамических характеристик транспортного средства.

Динамика транспортного средства в плоскости поперечного движения определяется значениями ускорений, действующих на него в направлении поперечной оси ОУ и угловой скорости его вращения относительно продольной оси ОХ.

Величина перегрузки в боковом движении, измеренная акселерометром, представлена двумя составляющими:

$$n_y = n_{y_{отн}} + \dot{\omega}_x \cdot \frac{L}{g}, \quad (1)$$

где  $n_{y_{отн}}$  - линейная перегрузка в боковом движении кузова относительно тележки (в данной точке транспортного средства суммирует характеристику движения кузова в горизонтальной плоскости: относ и влияние), ед.;

$n_{б.к.} = \dot{\omega}_x \cdot \frac{L}{g}$  - перегрузка, вызванная вращением кузова относительно оси продольного движения экипажа ОХ (боковая качка), ед.;

$\dot{\omega}_x$  - угловое ускорение вращения кузова относительно оси ОХ, с<sup>-2</sup>;

$L$  - расстояние по вертикали от оси вращения кузова ОХ до места установки датчика измерений, м;

$g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Для количественной оценки динамики бокового движения используется интегральный критерий (N – критерий) вида:

$$N = \int_{t_1}^{t_2} |n_y(t)| dt, \quad \text{или} \quad N = \int_{S_1}^{S_2} |n_y(S)| dS, \quad (2)$$

где  $n_y$  – перегрузка по оси измерения ОУ;

$S$  - пройденный путь;

$N$  – сумма абсолютных значений перегрузок за время от  $t_1$  до  $t_2$  или на участке пути от  $S_1$  до  $S_2$ .

Для установления связи полученных результатов измерений с характером продольного движения экипажа, нормирование  $N$  – критерия производится по скорости. Тогда выражение (2) приводится к виду:

$$N = \frac{1}{V_x} \int_{t_1}^{t_2} |n_y(t)| dt, \quad \text{или} \quad N = \frac{1}{V_x} \int_{S_1}^{S_2} |n_y(S)| dS, \quad (3)$$

где  $V_x$  – средняя скорость продольного движения транспортного средства за время  $\Delta t = t_2 - t_1$ , или на участке  $\Delta S = S_2 - S_1$ .

Для уменьшения зависимости вычислений от погрешности скоростемеров локомотива вычисление скорости движения производится интегрированием величины перегрузки действующей по продольной оси движения экипажа ОХ.

$$V_x = \int_{t_1}^{t_2} |n_x(t)| \cdot g \cdot dt, \quad \text{или} \quad V_x = \int_{S_1}^{S_2} |n_x(S)| \cdot g \cdot dS, \quad (4)$$

где  $n_x$  – продольная перегрузка по показаниям акселерометра, ед.

Все измерения производятся при одинаковой высоте установки датчиков  $L$ .

Оценка боковой динамики осуществляется сравнением полученных значений  $N$  для исследуемого произвольного и эталонного участков пути или для совокупности одноименных транспортных средств, эксплуатируемых одновременно на одном и том же участке пути, эталонном среди которых является тот, для которого значение  $N$  – минимально.

Реализация предложенной методики качественной и количественной оценки боковой динамики электровоза осуществляется с помощью микропроцессорной информационно-измерительной системы, пример построения структурной схемы которой для бокового движения представлен на рис.1, где:

– ДЛУ – датчик линейных ускорений предназначен для измерения величины перегрузок ( $n_x, n_y, n_z$ );

– ДУС – датчик угловой скорости измеряет угловую скорость вращения кузова ( $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ );

– ГВ – гидровертикаль измеряет углы отклонения от нейтрального положения вертикальной оси транспортного средства в плоскостях продольного ( $\theta$ ) и поперечного ( $\gamma$ ) движения (соответственно при галопировании и боковой качке);

– МК – микроконтроллер осуществляет обработку информации и запись результатов, полученных в соответствии с заданным алгоритмом, в память;

- память инструментального компьютера используется для сравнения полученных значений  $N$  – критерия с эталонными;
- результаты обработки информации могут быть преобразованы в управляющий сигнал для системы автоматического управления (САУ) движением транспортного средства.

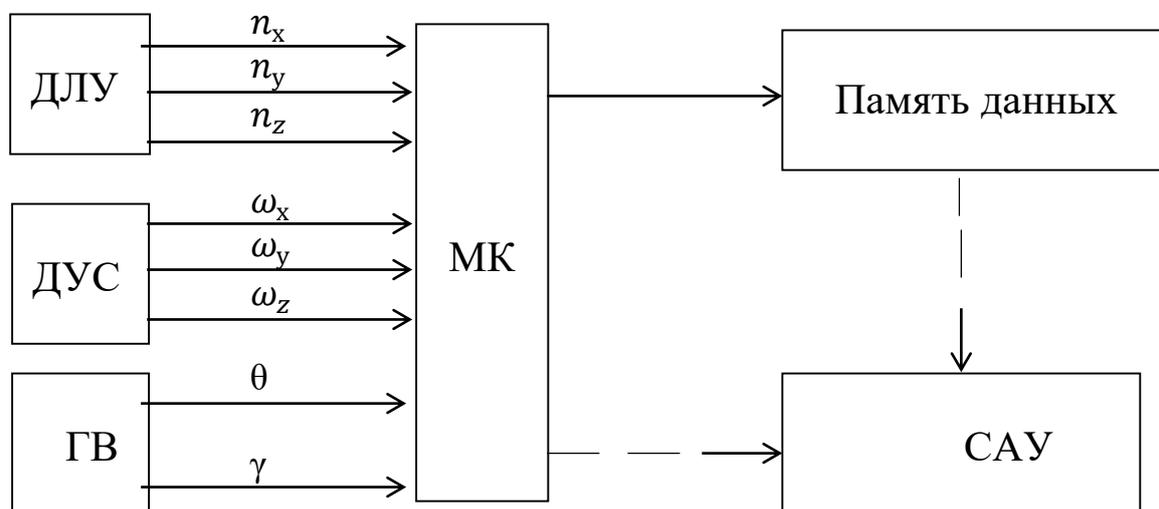


Рис.1. Структурная схема микропроцессорной информационно-измерительной системы

Предложенный алгоритм для реализации нового способа исследования динамики железнодорожного подвижного транспортного средства, заключается в измерении характеристических параметров динамики объекта наблюдения и в последующей математической обработке результатов измерений, и отличается тем, что измеряемые величины кинематических и динамических характеристик движения экипажа представляют в виде массивов мгновенных значений перегрузок, действующих на транспортное средство в направлении координатных осей в данном промежутке времени или на данном участке пути; интегрированием значений перегрузок, определяют среднюю скорость движения экипажа, а также нормированный по этой скорости  $N$ -критерий, представляющий собой интегральное значение перегрузки для тех же пределов интегрирования; сравнивая значение  $N$ -критерия с эталонным для участка пути или транспортного средства, судят о динамических качествах объекта наблюдения.

### Преимущества

Конкурентные преимущества разрабатываемого устройства определены в сравнении с применяемыми для экспериментальной оценки

динамики подвижного состава на железнодорожном транспорте системами: автоматизированной системой обнаружения отрицательной динамики (АСООД) и устройством регистрации ускорений поезда (УРУП-1).

Система АСООД предназначена для выявления вагонов, имеющих повышенные колебания кузова на ходу поезда. Однако возможности использования системы АСООД для оценки динамики железнодорожного подвижного транспортного средства во всем диапазоне измерения характерных параметров его движения – ограничены. Это объясняется тем, что она является стационарной, устанавливается на подходе к станции и предназначена для проведения измерений в ограниченном диапазоне измерения скоростей движения транспортного средства (60-80 км/ч).

Устройство регистрации ускорений поезда (УРУП-1), предназначено для измерения линейных перегрузок, действующих на транспортное средство и его части в процессе движения. К достоинствам следует отнести его конструктивную простоту и надежность в эксплуатации, однако, возможности его использования для оценки динамики железнодорожного транспортного средства ограничены:

- необходимостью проверки диапазона измерения перегрузок, что требует включения в комплект устройства вибростола эталонной вибрационной установки;
- отсутствием возможности регистрации угловых перемещений и скоростей при вращательном движении кузова транспортного средства относительно координатных осей;
- диапазоном значений регистрируемых перегрузок, превышающих по модулю значение  $3g$  (которое редко реализовывалось в ходе исследований).

По этим причинам высокая точность объективной оценки динамики железнодорожного подвижного транспортного средства во всем диапазоне измерения измеряемых параметров системой АСООД и устройством УРУП-1 не может быть обеспечена.

Разрабатываемое устройство решает задачу непрерывного измерения динамических характеристик подвижного транспортного средства во всем диапазоне их изменения по шести составляющим этого движения (три поступательных в направлении координатных осей и три вращательных относительно этих осей) и обеспечивает возможность оперативного вмешательства в управление процессом движения.

Наиболее надежным способом получения точных результатов исследований по взаимодействию пути и подвижного состава, а также проверки правильности теоретического описания этих процессов были и остаются экспериментальные методы, обладающие высокой надежностью конечных результатов.

В рамках проводимых Иркутским Государственным Университетом Путей Сообщения исследований динамических характеристик электровоза

возникла необходимость в оценке его боковой динамики. Натурные испытания проводились на электровозах ВЛ-80Р №№ 1729, 1556, 1581 при скорости движения 60 км/ч на перегоне между станциями Боготол – Мариинск с 3861 по 3866 км, выбранном по признаку большого количества кривых, в том числе кривых малого радиуса.

Возможности использования системы АСООД ограничены в силу ее стационарности, поэтому она не была использована в эксперименте.

Информация о величине линейной перегрузки, действующей вдоль боковой оси, полученная с помощью УРУП-1, в силу эксплуатационных характеристик этой системы оказалась не полной.

К исследованиям был привлечен виброколлектор СК-1100, являющийся быстродействующей портативной системой сбора и хранения информации о вибросостоянии машин и оборудования. С его помощью на каждом из вышеперечисленных электровозов были проведены циклы испытаний. Длительность единичного испытания составляла 5,2 с, что определено техническими возможностями устройства. За это время устройством фиксировалось 65536 измерений, которые впоследствии были обработаны и проанализированы.

Для количественной оценки динамики был использован интегральный критерий по техническому решению, предлагающему способ исследования динамики железнодорожного подвижного транспортного средства [8]. Сравнение результатов интегрирования (интегральная оценка) с результатами натурных испытаний дает право утверждать, что предложенный способ оценки боковой динамики электровозов обеспечивает возможность получения (в удобной форме для оперативного вмешательства в управление движением) результатов оперативной регистрации динамических качеств железнодорожного транспортного средства – объекта наблюдения. При этом, наличие этой информации непосредственно в процессе движения обеспечивает возможность мгновенного реагирования системы автоматического управления движением экипажа на сложившуюся сиюминутную обстановку.

Необходимым условием эффективного применения этого способа является расширение разрешающих возможностей средств измерения динамических характеристик – датчиков измерительных систем. Например, тот же виброколлектор СК-1100 малоэффективен, так как за 5,2 с единичного испытания невозможно получить статистически верную картину движения: информация искажается за счет алгоритмически ограниченной полосы пропускания устройства, к тому же одно устройство позволяет производить измерения линейной перегрузки только в направлении одной оси. Перспективным представляется поиск в использовании акселерометров (аналогичных, например, применяемым в авиации), в комплекте с современными средствами микропроцессорной техники.

Под понятием «поточные исследования» подразумевается возможность исследования динамических характеристик, отвечающих всем состояниям исследуемой системы во все моменты времени. Способ исследования динамики подвижного транспортного средства по техническому решению [8], позволяющий в каждый момент движения судить об изменении величин кинематических и динамических характеристик экипажа и сравнивать их с эталонными значениями, отвечает этому понятию. Однако, реализация этого способа, обеспечивая интегральную оценку поведения всей совокупности материальных объектов, включенных в конструкцию экипажа, не дает возможности изучить индивидуальный характер изменения технического состояния отдельных материальных объектов совокупности, при попытках совершенствования их конструкции.

Общепринята практика стендовых исследований индивидуальных технических свойств узлов и деталей - составляющих элементов конструкции экипажа, однако при объединении их в единое транспортное средство требуется корректировка этих технических свойств для обеспечения, по возможности, оптимального их сочетания.

Известны способы осуществления исследований, например, в ходе создания новых конструкций летательных аппаратов, основанные на применении принципа обращения движения, при котором сочетание приемов математического и физического моделирования обеспечивают высокую эффективность результатов исследований [1-4]. Наиболее известным объектом, на котором этот способ реализуется на практике, является аэродинамическая труба ЦАГИ.

По объему и значительности результатов исследований этому объекту в железнодорожном хозяйстве страны соответствует экспериментальное кольцо ВНИИЖТ с его комплексом лабораторного и производственного обеспечения. Однако, при высоком уровне технической оснащенности экспериментального кольца, на его базе не обеспечена возможность получения достоверной информации о техническом состоянии элементов транспортной системы в любой точке пространства, в любой момент времени («поточные исследования»). Главными факторами ограничения этой возможности являются протяженность кольца и невозможность комплексного сочетания всех возможных случаев движения на выбранном узком участке наблюдения одновременно.

Предлагаемый способ исследования динамических характеристик взаимодействия железнодорожного подвижного транспортного средства и рельсового пути [8] решает задачу обеспечения возможности поточных исследований динамических характеристик взаимодействия железнодорожного подвижного транспортного средства и рельсового пути при стационарном расположении измерительной оснастки и средств исследования.

Согласно этому способу поставленная задача решается применением принципа обращения движения. При этом один из объектов исследования, представляющий собой транспортное средство или комплекс его элементов (колесные пары, тележки, кузов, системы подвешивания, т.д.), как вариант - их физическую модель, снабженный измерительной оснасткой, средствами исследования, а также средствами имитации различных видов нагрузки, сообщаемых транспортному средству в процессе движения, зафиксирован неподвижно на участке наблюдения. Возмущающий импульс неподвижному объекту исследования сообщается со стороны колесной пары, взаимодействующей с подвижным объектом исследования, которым является набегающий на колесо рельсовый путь, состоящий из совокупности стандартных рельсов и представляющий собой аналог подвижного звена, например, ремня (цепи) в ременной (цепной) передаче. Взаимодействие с колесом транспортного средства осуществляется на горизонтальном участке «бесконечного» подвижного рельсового пути, с возможностью обеспечения регулировки упругости основания рельсового пути, а также интенсивности и направленности силового взаимодействия колеса и рельса.

### **Заключение**

Технический результат реализации предлагаемой методики поточных исследований заключается в возможности оперативной регистрации сравнительных динамических качеств железнодорожного транспортного средства – объекта наблюдения в процессе его движения и, таким образом, обеспечения условий мгновенного реагирования системы автоматического управления движением экипажа на сложившуюся сиюминутную обстановку, с учётом рекомендаций, сформулированных в ходе теоретических исследований [6, 7, 9].

### **Библиографический список**

1. Гайфуллин А. М. Вихревые течения. Москва: Наука, 2015. – 319 с.
2. Остроухов С. П. Аэродинамика воздушных винтов и винтокольцевых движителей. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 328 с.
3. Хлебников В. С. Аэротермодинамика элементов летательных аппаратов при стационарном и нестационарном сверхзвуковом отрывном обтекании. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 168 с.
4. Башкин В. А., Егоров И. В. Численное исследование задач внешней и внутренней аэродинамики. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 332 с.

5. Камаев В. А. Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава. Москва: Машиностроение, 1989. – 216 с.
6. Демченко И. П. Вертикальные и продольные колебания электровоза ВЛ65-1-016 на прямых участках пути. Новочеркасск: Электровозостроение. – Т. 39, 1998. – С. 25-31.
7. Демченко И. П. Боковые колебания электровоза ВЛ65-016 на прямых участках пути. Новочеркасск: Электровозостроение. Т. 39, 1998. – С. 31-37.
8. Патент РФ № 2273013. Способ исследования динамики железнодорожного подвижного транспортного средства. Бюл. № 9. 2006.
9. Кожевников С. Н. Механизмы. Москва: Машиностроение, 1976. – 784 с.

### References

1. Gaifullin A. M. Vihrevye techeniya [A vortex flow]. Moscow, 2015. 319 p.
2. Ostroukhov S. P. Aehrodinamika vozdushnyh vintov i vintokol'cevyh dvizhitelej [Aerodynamics of propellers and propulsion vinokurtseva]. Moscow, 2014. 328 p.
3. Khlebnikov V. S. Aehrotermodynamika ehlementov letatel'nyh apparatov pri stacionarnom i nestacionarnom sverhzvukovom otrivnom obtekanii [Aerothermodynamics components of aircraft at supersonic steady and unsteady separated flow]. Moscow, 2014. 168 p.
4. Bashkin V. A. & Egorov I. V. CHislennoe issledovanie zadach vneshnej i vnutrennej aehrodinamiki [Numerical study of internal and external tasks of aerodynamics]. Moscow, 2013. 332 p.
5. Kamaev V. A. Optimizaciya parametrov hodovyh chastej zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava [Optimization of the parameters of the undercarriage of rolling stock]. Moscow, 1989. 216 p.
6. Demchenko I. P. *EHlektrovozostroenie – Locomotive Building*, vol. 39, 1998, pp. 25–31.
7. Demchenko I. P. *EHlektrovozostroenie – Locomotive Building*, vol. 39, 1998, pp. 31–37.
8. RF patent № 2273013. Method of studying the dynamics of railway vehicles. Bull. no. 9, 2006.
9. Kozhevnikov S. N. Mashinostroenie [Mechanical engineering]. Moscow, 1976, 784 p.

**Сведения об авторах:**

МИЛОВАНОВА Евгения Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры ЭПС, Иркутский государственный университет путей сообщения

E-mail: evakami@yandex.ru

ЛЮБЧЕНКО Ирина Алексеевна, студентка, Иркутский государственный университет путей сообщения

E-mail: lubchenco.i@yandex.ru

**Information about authors:**

Evgeniya A. MILOVANOVA, Ph.D. (Tech), associate professor of the department EPS, Irkutsk State University of Railway Engineering (IrGUPS)

E-mail: evakami@yandex.ru

Irina A. LYUBCHENKO, student of the Irkutsk State University of Railway Engineering

E-mail: lubchenco.i@yandex.ru

УДК 658.51

**Н. А. Аксенов**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

## **MAGLEV: КАК НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТРАНСПОРТА**

Дата поступления: 23.03.2017

Решение о публикации: 27.03.2017

Дата публикации: 30.04.2017

**Аннотация:** В статье критически рассмотрен отечественный опыт по разработке проекта высокоскоростной магистрали между Москвой и Казанью как пример реализации рисков масштабного железнодорожного проекта. Рассмотрен проект строительства грузовой магнитолевитационной магистрали (ГМЛМ) с учетом опыта проекта ВСМ Москва-Казань.

**Введение:** В статье проведен анализ хода реализации проекта высокоскоростной магистрали и выявлены возникшие проблемы. Приведены примеры возникших трудностей при воплощении транспорта с применением магнитной левитации в СССР. Охарактеризованы работы проекта строительства грузовой магнитолевитационной магистрали на основе которых должен быть построен сетевой график работ проекта. Произведена оценка характеристик проекта по различным классификационным признакам.

**Цель:** Обоснование необходимости разработки сетевого графика работ проекта строительства грузовой магнитолевитационной магистрали на участке между портами Балтийского моря и грузовыми терминалами Москвы.

**Метод:** Аналитическая оценка реализованных и действующих проектов, а также предполагаемого проекта строительства ГМЛМ.

**Результаты:** Характеристика проекта по различным классификациям и выделение работ, позволят упростить дальнейшую процедуру по созданию иерархической структуры работ (ИСР) проекта, а также оценки стоимости проекта в целом.

**Выводы:** Создание сетевого графика работ проекта позволит: определить последовательность операций проекта; оценить стоимость отдельных работ проекта, с последующим приведением общей оценки проекта; выявить резервы времени; определить критический путь проекта.

**Ключевые слова:** Высокоскоростная магистраль, проект, сетевой график, магнитная левитация, магнитолевитационный транспорт, инновации, грузовые перевозки, иерархическая структура работ, контейнерные грузоперевозки.

**Nikita A. Aksenov**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University  
MAGLEV: AS A NEW STAGE OF HIGH-SPEED TRANSPORT  
DEVELOPMENT

**Abstract:** The article critically examines the domestic experience in developing a high-speed highway project between Moscow and Kazan as an example of implementing the risks of a large-scale railway project. The project of construction of a cargo magnetolevitational highway (GMLM) is considered taking into account the experience of the BCM Moscow-Kazan project.

**Introduction:** The article analyzes the progress in the implementation of the high-speed highway project and identifies the problems that have arisen. Examples of the difficulties encountered in the implementation of transport with the use of magnetic levitation in the USSR are given. The work of the construction project of the cargo magnetolevitational highway on the basis of which the network schedule of the project's work should be built is described. The evaluation of the characteristics of the project according to various classification characteristics.

**Goal:** Substantiation of the need to develop a network schedule for the construction of a cargo magnetolevitational highway in the section between the Baltic Sea ports and cargo terminals in Moscow.

**Method:** Analytical evaluation of the implemented and ongoing projects, as well as the proposed construction project of the GMLM.

**Results:** The characteristics of the project for various classifications and the allocation of work will simplify the further procedure for creating the project's hierarchical structure of works (ISR), as well as estimating the cost of the project as a whole.

**Conclusions:** Creation of the project work schedule allows: to determine the sequence of operations of the project; Estimate the cost of individual project activities, followed by a general assessment of the project; To reveal the reserves of time; identify the critical path of the project.

**Keywords:** High-speed highway, project, network schedule, magnetic levitation, magneto-levitation transport, innovations, freight transport, hierarchical structure of works, container cargo transportation.

## Введение

На сегодняшний день наблюдается тенденция к увеличению объема грузовых контейнерных перевозок [12]. Магнитолевитационный транспорт в состоянии справиться с объемом, который не способна осилить существующая транспортная система и разгрузить «узкие» места. При увеличении спроса на контейнерные грузоперевозки по территории России возможен рост конкурентоспособности страны на рынке международных контейнерных грузоперевозок [4,6]. Прежде чем приступить к реализации проекта ГМЛМ, следует выделить работы, которые должны охарактеризовать все проводимые операции. Необходимо на основании этих работ построить ИСР, которая бы характеризовала взаимосвязанность всех процессов. Также необходимо построить сетевую диаграмму проекта, которая даст четкое представление последовательности выполнения работ,

на основании которой можно дать первоначальную оценку стоимости выполнения работ и проекта в целом, а также определить количество требуемых ресурсов и времени на каждую работу в отдельности. Для формирования базы данных обратимся к отечественному опыту по разработке подобных проектов.

### **Анализ отечественного опыта**

При проектировании высокоскоростной магистрали между Москвой и Казанью возникли некоторые проблемы на стадии разработки [11]. Так возникла необходимость доработки финансовой и организационно-правовой моделей высокоскоростной магистрали. Потребовалась повторная обработка разработанного материала проекта ВСМ-2, для повышения качества реализации проекта.

Первым моментом, который подвергся сомнениям, стал риск достаточного уровня объема пассажиропотока. Из-за высокой стоимости билетов есть вероятность того, что составы будут заполнены не в достаточной степени, поскольку не каждый может позволить приобрести себе билет по предполагаемой стоимости проезда [13].

Второй проблемой оказалось финансирование проекта. Изначально преобладающую часть инвестиций предполагалось осуществить за счет государственных средств, а остальную за счет средств частного инвестора, но в связи с сложившейся экономической ситуацией в стране и мире, правительство решило урезать свою часть финансирования [11]. Интересы в увеличении своей доли финансирования со стороны инвестора не наблюдаются. Скорее всего, государство решило снизить свои риски в данном проекте.

Третьей проблемой стала трассировка проекта. Большая часть местного населения, проживающего вблизи проектируемой магистрали, не согласна с выбранной схемой прохождения трассы. Строительство железной дороги предполагает снос некоторых жилых объектов, а также ухудшение экологической обстановки в пределах магистрали, в том числе нанесение вреда животным, входящих в Красную книгу [3].

Каждая проблема серьезно сказывается на сетевом плане-графике проекта утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.01.2016 г. №5-р [10]. Как следствие идет увеличение стоимости проекта. Проведение дополнительных работ, включающих изменение трассировки магистрали, приведут к невыполнению проекта в установленные сроки.

При создании в советское время транспорта с технологией магнитной левитации также возникли некоторые трудности при его реализации. В 70-е годы двадцатого века началось воплощение транспорта с применением магнитной левитации – СПТС (скоростная пассажирская транспортная

система). Под Москвой, в Раменском, на полигоне НИИПИТранспрогресс построили 600-метровую трассу. Завод «Газстроймаш» создал для нее экспериментальный 9-метровый вагон весом 8 тонн и вместимостью 35 пассажиров [7].

В конце 1980-х исследованиями в Раменском (теперь организация, проводившая их, называлась ТЭМП) удалось заинтересовать московские власти. К 1992 году были разработаны проекты двух линий — Шереметьево — Дом правительства на Красной Пресне и Чертаново — Бутово. К началу кризиса 1990-х был утвержден проект удлинения трассы до 7 км, чтобы достичь более высокой скорости. Тогда же прошли испытания первого отечественного поезда с линейным электродвигателем, в днище вагонов которого были размещены электромагниты подвеса и стабилизации. По расчетам, стоимость линий была в три раза меньше, чем для метрополитена. Но дальше тестирования вагонов дело не пошло. С распадом СССР возникли проблемы с выполнением обязательств по поставкам предприятиями, оказавшимися в разных республиках, а последовавший промышленный кризис затруднил финансирование [5]. В итоге к 1993 году программа была фактически заморожена. Через несколько лет о ней снова вспомнили, поскольку формально решение строить никто не отменял, но дефолт конца 1990-х помешал довести дело до конца. Экономическая ситуация, существующая на сегодняшний день, является наиболее приемлемой для реализации магнитолевитационного транспорта, по сравнению с положением во времена Советского союза.

## Оценка проекта строительства ГМЛМ

Применительно к проекту строительства грузовой магнитолевитационной магистрали (ГМЛМ), нужно разработать и оптимизировать сетевой график работ [1]. При проектировании ГМЛМ стоит учесть возникшие проблемы при проектировании ВСМ-2, а также учесть ошибки при разработке магнитолевитационного транспорта в Советском Союзе, чтобы предпринять меры по недопущению возможного возникновения подобных неблагоприятных ситуаций. Для этого, проект должен включать работы, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Работы проекта строительства грузовой магнитолевитационной магистрали

Работы	Содержание работ
<i>Определение организационной и финансовой модели проекта</i>	В рамках данной работы необходимо сформулировать основные цели реализации проекта, а также его экономические показатели. Помимо этого, стоит установить организационно-правовые отношения участников проекта. Необходимо определить

	источники финансирования и сроки работ, определяющих проект.
<i>Проведение проектно-изыскательских работ (ПИР)</i>	В рамках данной работы должна быть разработана проектная документация, которая требует прохождения государственной экспертизы.
<i>Выделение земельных участков, под строительство объектов, входящих в проект</i>	Следует подготовить документы по планировке территорий и согласовать их с правительством. Земельные участки должны находиться в собственности, либо взяты в аренду.
<i>Выполнение строительно-монтажных работ</i>	Для начала работ, необходимо получить разрешение на строительство, а для эксплуатации объектов строительства, нужно получить разрешение на ввод объекта в эксплуатацию. Объекты инфраструктуры проекта следует поставить на кадастровый учет. Чтобы объекты инфраструктуры находились в собственности, нужно получить свидетельство о регистрации права собственности.
<i>Определение взаимодействия с потенциальными инвесторами</i>	Необходимо определить условия участия инвесторов в проекте, а также круг лиц, готовых инвестировать проект.
<i>Производство подвижного состава</i>	Изначально требуется разработать комплексное техническое задание на производство подвижного состава на основе утвержденных регламентов. Стоит подготовить и утвердить технические требования к подвижному составу (ПС). Определить технологию работы ПС. Необходимо создать и организовать на территории РФ производство ПС на основе технологии магнитной левитации.
<i>Создание нормативной базы</i>	Необходимо на уровне правительства признать магнитолевитационный транспорт как новый вид транспорта и «закрепить» документально. Для этого стоит разработать регламентирующую документацию, определяющие реализацию нового вида транспорта, а также, определяющую его параметры и характеристики.
<i>Подготовка кадров</i>	Следует разработать программы по подготовке специалистов в сфере магнитолевитационных технологий. В транспортных университетах следует создать единую базу в получении практического опыта новой технологии.
<i>Проведение НИОКР</i>	В рамках рассматриваемой работы предполагается создание полномасштабного

	макета магнитолевитационного транспорта, создание испытательного полигона с целью проведения испытаний и фиксирования показателей, на основе которых возможно будет реализовывать строительство ГМЛМ.
<i>Утверждение схемы магистрали</i>	Прежде всего, следует определиться с начальной и конечной точками маршрута на основании полученного разрешения на строительство, а также на основании заключенных соглашений с грузовыми терминалами и портами.
<i>Поиск производителей инфраструктуры</i>	Необходима разработка комплексного технического задания на производство объектов инфраструктуры, согласно полученным результатам проведенных ПИР и утвержденными регламентами. Утверждение регламентов должно быть осуществлено в соответствии с разработанными и согласованными на правительственном уровне стандартами для нового вида транспорта.

Проект строительства ГМЛМ относится к разряду инновационных, поскольку внедряются инновационные технологии, оптимизирующие порядок выполнения операций по транспортировке грузов, которые снижают существующие сегодня риски на железнодорожном транспорте.

Инновации необходимы для того, чтобы фирмы имели возможность [14]:

- оставаться в бизнесе;
- получать преимущество в конкурентной борьбе;
- повышать качество продукции и услуг;
- восхищать потребителей;
- привлекать и сотрудничать с наилучшими исполнителями.

Инновационная деятельность в производстве, обслуживании, обработке и эксплуатационных процедурах необходима для успеха организации. Какой бы ни была инновация, она определяется будущими потребностями рынка и реализуется через соответствующий инновационный проект [15].

Таким инновационным решением может стать проект строительства ГМЛМ на участке между портами Балтийского моря и грузовыми терминалами Москвы. Создание ГМЛМ должно стать дополнительным стимулом инновационного развития Санкт-Петербурга, поскольку предполагается применение передового мирового опыта по следующим видам инноваций: организационно-управленческие, социальные, информационные.

Создание ГМЛМ также будет способствовать решению задач социально-экономического развития Санкт-Петербурга: развитию производств и транзитного потенциала, и повышению уровня инновационности экономики.

В последние 3-4 года российский рынок грузовых контейнерных перевозок характеризовался высокими темпами роста (выше мировых), что послужило толчком в развитии сети контейнерных терминалов, основную долю грузопотоков которых составляют экспортно-импортные грузы, проходящие через морские порты Санкт-Петербурга и Ленинградской области [4].

Существующий на территории Санкт-Петербурга транспортно-логистический комплекс, в который входят грузовые порты Балтийского моря, обеспечивает транспортировку большой доли грузов по направлению Россия – страны Европейского Союза. Помимо этого, осуществляет транзит грузовых перевозок по направлению Азия-Европа, что служит развитием торговли и международных отношений.

Для оценки проекта строительства ГМЛМ по различным параметрам, на основании известных факторов [1], была произведена классификация (табл. 2), согласно характеристикам, описанным в [8].

Таблица 2. Классификация проекта строительства грузовой магнитолевитационной магистрали

№	Классификация	Характеристика
1	По масштабу	Относится к мегапроекту, поскольку содержит целевые программы (подготовка специалистов, организация производства ПС, создание инфраструктуры и т. п.) с выделенными ресурсами и отпущенным временем. Помимо этого проект имеет высокую стоимость и длительный срок реализации.
2	По сложности	Относится к комплексно сложному, поскольку в отечественной практике отсутствует опыт в реализации таких проектов, к тому же проект относится к разряду инновационных и требует длительного периода на создание нормативной базы.
3	По срокам реализации	Несомненно проект является долгосрочным, так как, предположительно, длительность реализации такого проекта от 5 лет.
4	По требованиям к качеству	Можно определить как бездефектный проект, поскольку он направлен на повышение качества услуг в сфере грузовых контейнерных перевозок.
5	По уровню участников	Проект вполне может являться отечественным и реализовываться производственными мощностями российских производителей, но также допускается участие зарубежных партнеров.

6	По характеру проектируемых изменений	Проект безусловно является инновационным. Задача инновационного проекта – внедрение принципиально новых разработок, которые и предполагается применить в рассматриваемом проекте.
7	По сферам и направлениям деятельности	Проект объединяет в себя несколько составляющих, таких как: строительный, инжиниринговый, научно-технический и тому подобное.
8	По особенностям финансирования	Инвестиционный проект, предполагающий получение прибыли на основе государственно-частного партнерства с заключением концессионного соглашения.
9	По затрачиваемым ресурсам и получаемой прибыли	Коммерческий проект, направленный на получение прибыли.

## Заключение

Чтобы достичь целей проекта, необходимо выполнить ряд работ в определенной последовательности [2]. Основанием могут служить предложенные в статье работы проекта строительства ГМЛМ (табл. 1), формируя этапность процессов. Операции проекта следует проработать так, чтобы полученный результат одной являлся базой для реализации другой. Все работы необходимо разбирать по отдельности как процедуру с определёнными ресурсами на входе, преобразующиеся в некий итог на выходе. Исходя из этого, при разработке проекта строительства ГМЛМ, следует рассматривать каждый пакет работ по каждой операции, для наиболее точной оценки ресурсов проекта и сроков его реализации. Используя метод оценки «снизу-вверх», каждая работа будет рассмотрена индивидуально, затем оценка рассматривает пакеты работ и так до верхнего уровня ИСР проекта. Отсюда, прежде чем строить сетевой график и производить оценку, требуется разработка ИСР проекта с выделением пакетов работ, включающих отдельные операции (от верхнего к нижним уровням ИСР).

## Библиографический список

1. Аксенов Н. А. Развитие высокоскоростного движения в России: Maglev // Транспортные системы и технологии. – СПб.: ПГУПС, 2016. – № 4 (6). – С. 25-34. – URL: <http://transsyst.ru/files/463-aksenov-n-a-pdf.pdf> (дата обращения: 10.03.2017).
2. Вовремя и в рамках бюджета: Управление проектами по методу критической цепи / Лоуренс Лич; перевод с англ. – М.: Альпина Паблишерз, 2010. – 354 с.

3. ВСМ: строительство еще не началось, Владимирская область уже кипит // Информационное агентство «REGNUM» / – URL: <https://regnum.ru/news/economy/2234288.html> (дата обращения: 10.03.2017).
4. Горшенин Д. Грузооборот портов Петербурга и Ленинградской области держится в плюсе / Сайт газеты «Ведомости» – URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2016/05/31/642985-gruzooborot-portov-peterburga> (дата обращения 10.03.2017).
5. Дубинская А. Московский монорельс: взгляд в прошлое и будущее // Электронный журнал «Йод» / – URL: <https://yodnews.ru/2016/06/29/monorail/> (дата обращения: 13.03.2017).
6. Куркин К. На Балтике обостряется конкуренция / Сайт журнала «Эксперт Северо-Запад» – URL: <http://expert.ru/northwest/2016/06/baltijskij-tyanitolkaj/> (дата обращения 10.03.2017).
7. Магия магнитоплана: Рожденный ползать уже не летает // Электронный журнал «Популярная механика» / – URL: <http://www.popmech.ru/science/5387-magiya-magnitoplana-rozhdennyu-polzatu-zhe-letaet/> (дата обращения: 13.03.2017).
8. Основы управления проектами: учебное пособие / Л. Н. Боронина, З. В. Сенук. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2015. – 112 с.
9. Проект строительства участка «Москва — Казань» высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва — Казань — Екатеринбург»: информационный меморандум. – Москва, 2014. – 48 с.
10. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.01.2016 г. №5-р «Сетевой план-график мероприятий реализации проекта строительства высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва-Казань».
11. Семягин Д., Саримова Л. «ВСМ Москва — Казань притормозили из-за нехватки денег и недоработанного проекта?» // Интернет-газета «Реальное время» / – URL: <https://realnoevremya.ru/articles/47809> (дата обращения: 10.03.2017).
12. Строев И. Временные трудности: тенденции рынка контейнерных перевозок / Сайт журнала «Морской бизнес» – URL: <http://mbsz.ru/?p=22834> (дата обращения 10.03.2017).
13. Телегина Н., Асанкин Р. «Триллионы в путь: на чьи деньги РЖД построят дорогу Москва — Казань» // Сайт «РБК» / – URL: <http://www.rbc.ru/business/12/04/2016/5707a7939a7947851c661183> (дата обращения: 10.03.2017).
14. Управление инновационными проектами: учебник / И. Л. Туккель, А. В. Сурина, Н. Б. Культин / Под ред. И. Л. Туккеля. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.
15. Управление инновационными проектами: учебно-методический комплекс / Под ред. И. Л. Туккеля. – СПб.: СПбГПУ, 2011. – 801 с.

## References

1. Aksenov N. A. *Elektronnyj nauchnyj zhurnal "Transportnye sistemy i Tekhnologii" – Electronic scientific journal "Transport Systems and Technologies"*, 2016, pp. 25–34.
2. Lawrence P. Leach *Vovremya i v ramkakh byudzheta: Upravleniye proyektami po metodu kriticheskoy tsepi* [On time and within budget: Critical chain project management]. Moscow, 2010. 354 p.
3. Informacionnoe agentstvo "REGNUM" (News agency "REGNUM"). URL: <https://regnum.ru/news/economy/2234288.html>.
4. Sajt gazety "Vedomosti" [The site of the newspaper "Vedomosti"]. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2016/05/31/642985-gruzooborot-portov-peterburga>.
5. Elektronnyy zhurnal "Yod" [Electronic Journal "Yod"]. URL: <https://yodnews.ru/2016/06/29/monorail/>.
6. Sajt zhurnala "Ekspert Severo-Zapad" [Site of the magazine "Expert North-West"]. URL: <http://expert.ru/northwest/2016/06/baltijskij-tyanitolkaj/>.
7. Elektronnyy zhurnal "Populyarnaya mekhanika" [Electronic Journal "Popular mechanics"]. URL: <http://www.popmech.ru/science/5387-magiya-magnitoplana-rozhdennyj-polzat-uzhe-letaet/>.
8. Boronina L. N. & Senuk Z. V. *Osnovy upravleniya proyektami: uchebnoye posobiye* [Fundamentals of Project Management: A Training Manual]. Yekaterinburg, 2015. 112 p.
9. *Proyekt stroitel'stva uchastka "Moskva – Kazan" vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magistrali "Moskva - Kazan' - Yekaterinburg": informatsionnyy memorandum* [Project for the construction of the Moscow-Kazan section of the Moscow-Kazan-Ekaterinburg high-speed railway: an information memorandum]. Moscow, 2014. 48 p.
10. *Rasporyazhenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 13/01/2016 no. 5-r "Setevoy plan-grafik meropriyatij realizacii proekta stroitelstva vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magistrali Moskva-Kazan"* [The order of the Russian Federation from 13.01.2016g. №5-p "Network schedule of activities of the project of building a high-speed railway line Moscow-Kazan"].
11. Internet-gazeta "Real'noye vremya" [Internet-newspaper "Real time"]. URL: <https://realnoevremya.ru/articles/47809>.
12. Sajt zhurnala "Morskoy biznes" [Website of the journal "Marine Business"]. URL: <http://mbsz.ru/?p=22834>.
13. Sajt "RBK" ["RBC" website]. URL: <http://www.rbc.ru/business/12/04/2016/5707a7939a7947851c661183>.
14. Tukkel' I. L., Surina A. V. & Kul'tin N. B. *Upravleniye innovatsionnymi proyektami: uchebnik* [Management of innovative projects: a textbook]. St. Petersburg, 2011. 416 p.

15. Tukkel' I. L. Upravleniye innovatsionnymi proyektami: uchebno-metodicheskiy kompleks [Management of innovative projects: educational-methodical complex]. St. Petersburg, 2011. 801 p.

**Сведения об авторе:**

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

**Information about author:**

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

УДК 621.3:331.45+629.439.027.34

**Ю. Ф. Антонов<sup>-1</sup>, В. Ли<sup>-2</sup>, А. С. Краснов<sup>-1</sup>**

<sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I

<sup>2</sup>Харбинский Университет науки и техники

## **СВЕРХЗВУКОВОЙ НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ В РАЗРЕЖЕННОЙ СРЕДЕ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА: ПРОРЫВНОЕ ИЛИ ТУПИКОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ**

Дата поступления: 19.01.2017

Решение о публикации: 27.03.2017

Дата публикации: 30.04.2017

**Аннотация:** Решением задачи организации сверхскоростного движения наземного транспорта может являться комбинированная транспортная система, предполагающая движение транспортной единицы в разреженной средеограниченного пространства, с использованием принципов магнитной левитации. Применение такой системы позволит существенно увеличить скорость транспортной единицы вплоть до сверхзвукового диапазона и кардинально увеличить, например, объемы грузоперевозок за счет следующих факторов:

1. Снижение аэродинамического сопротивления воздуха при движении;
2. Отсутствие прямого контакта транспортной единицы с нижним строением пути и как следствие полное отсутствие трения;
3. Отдельные выделенные линии допускают использование конструкций, позволяющих обеспечить существенное увеличение грузопотока.

**Постановка задачи:** Исследование базовых принципов движения транспортной системы на основе магнитной левитации в разреженной среде, моделирование ключевых процессов, определение основных параметров новой транспортной системы и установление их оптимального соотношения, приведенного к условиям безопасной и энергоэкономичной эксплуатации, оценка возможных рисков, связанных с использованием данного вида транспорта, как для грузовых, так и для пассажирских перевозок.

**Ключевые слова:** левитация, массив halbach, мощность, магнит, пассивная масс-пружинно-демпферная система, система левитации, стабилизация, торможение, литий-ионный аккумулятор

**Yu. F. Antonov<sup>-1</sup>, V. Li<sup>-2</sup>, A. S. Krasnov<sup>-1</sup>**

<sup>1</sup>Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

<sup>2</sup>Harbin University of Science and Technology

**SUPERSONIC LAND TRANSPORT IN THE DISTURBED ENVIRONMENT  
OF THE LIMITED SPACE: BREAKTHROUGH OR DIRECT DIRECTION**

**Abstract:** the solution of the problem of organizing super-high-speed ground transport can be a combined transport system that presupposes the movement of a transport unit in a rarefied environment of an unlimited space, using the principles of magnetic levitation. The use of such a system will significantly increase the speed of the transport unit up to the supersonic range and dramatically increase, for example, the volumes of cargo transportation due to the following factors:

1. Reduction of aerodynamic resistance of air during movement;
2. The lack of direct contact of the transport unit with the lower structure of the path and, as a consequence, the complete absence of friction;
3. Separate leased lines allow the use of structures to ensure a significant increase in cargo traffic.

Problem statement: study of the basic principles of motion of the transport system based on magnetic levitation in a rarefied environment, modeling of key processes, determination of the main parameters of the new transport system and establishing their optimal ratio, reduced to safe and energy-efficient operation conditions, assessment of possible risks associated with the use of this type transport, both for freight and passenger transportation.

**Keywords:** levitation, halbach array, power, magnet, passive mass-spring-damper system, levitation system, stabilization, braking, lithium-ion battery

## Предыстория

Идея пассажирского трубопровода начинает свою историю с 1667 г., когда французский физик Дени Папен предлагал использовать сжатый воздух для переправки грузов по трубе. Во второй половине XIX века в Европе рассматривались возможности строительства "атмосферических железных дорог".

Идея вакуумного поезда была выдвинута в 1911 году российским физиком Борисом Вейнбергом [4] (рис. 1).

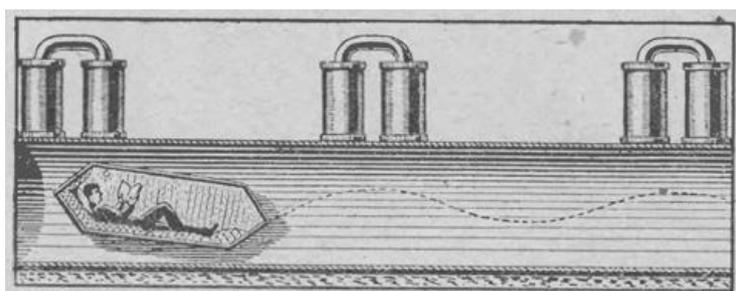


Рис. 1. Вакуумный поезд Б. П. Вейнберга

В 1911 году профессор Томского технологического института (ТТИ) Б. П. Вейнберг построил установку, в которой вагончик массой 10 кг бегал по 20-метровому кольцевому путепроводу из медной трубы диаметром 32 см. В своей установке Вейнберг использовал электромагнитную левитацию (ЭМЛ), и линейный синхронный электродвигатель (ЛСД). Капсула-вагон

подвешивалась под электромагнитами, которые передавали ее по цепочке от одного к другому.

После успешно проведенных в 1911 – 1913 гг. опытов был разработан проект экспериментальной трассы, на которой предполагалось достичь скорости 800 - 1000 км/ч. Полностью автоматизированная дорога в двухпутном варианте должна была пропускать 15 тыс. пассажиров в сутки в одном направлении.

В марте 1917 года журнал The Electrical Experimenter публикует статью о новом виде транспорта (рис. 2).

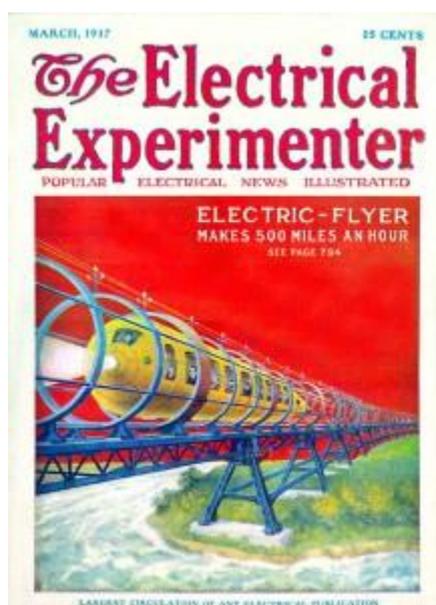


Рис. 2. Обложка журнала The Electrical Experimenter за март 1917

После революции и войны моделирование ключевых процессов разработки такого вида транспорта были прекращены. Новый вид наземного транспорта, изображенный на обложке журнала (рис. 2), во многом соответствует технологии ЕТТ (см. ниже).

### **Технология «ЕТТ»: Магнитолевитационный транспорт в вакуумной трубе**

В Китае в лаборатории Юго-Западного университета Цзяотуна (Southwest Jiaotong University) реализуется долгосрочная программа научных исследований магнитолевитационной технологии ЕТТ (Evacuated Tube Transportation). Ее цель: создание сверхвысокоскоростного магнитолевитационного транспорта. Программа начата в 2001 г. и должна быть завершена в 2020 г [2].

В основе программы лежит магнитолевитационная транспортная технология «вакуумной транспортной трубы». Транспортное средство,

представляющее собой капсулу в виде герметичного модуля небольшой вместимости, обладающая левитационными качествами, разгоняется с помощью линейного синхронного двигателя до номинальной скорости и далее передвигается в трубе к пункту назначения без дополнительных затрат мощности. В трубе, из которой выкачан воздух, вследствие чего практически нет аэродинамического сопротивления, можно достичь скорости 1000 км/ч и даже сверхзвуковые – до 8000 км/ч. Вакуумная транспортная труба (две трубы – в прямом и обратном направлении) прокладывается под землей либо на эстакаде (рис. 3).

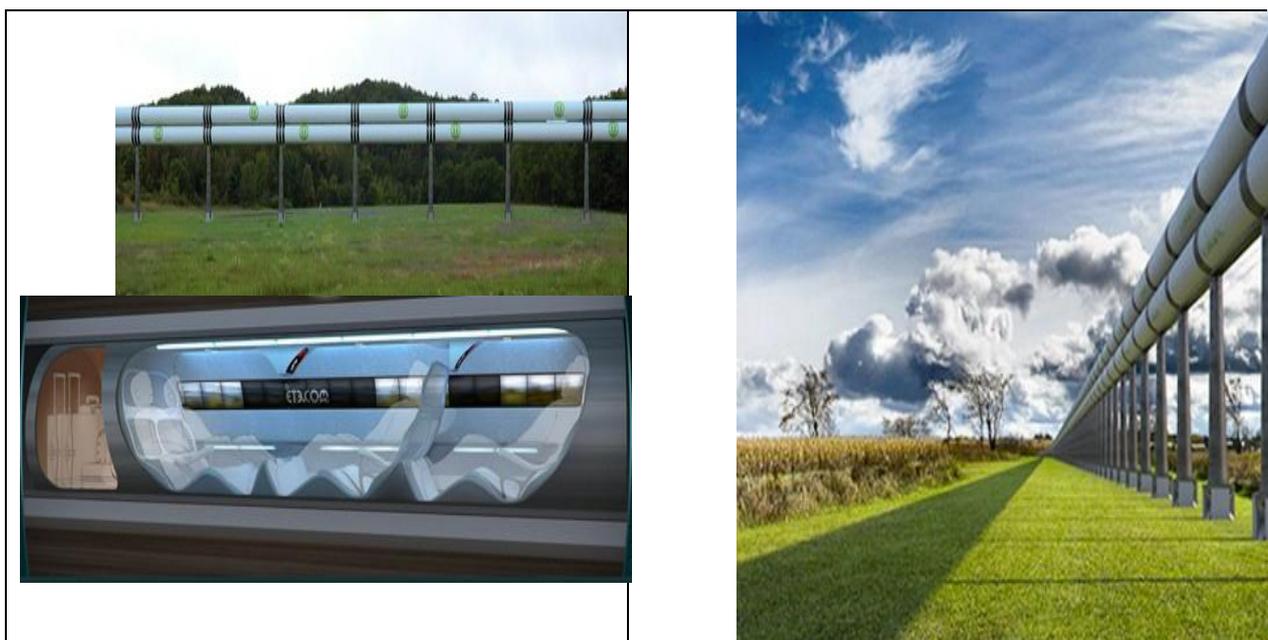


Рис. 3. Эстакадный вакуумный трубопроводный наземный транспорт ЕТТ

В лаборатории Southwest Jiaotong University в настоящее время создается прототип транспортного средства, который проектируется на среднюю скорость 500-600 км/ч. Небольшая модель такого транспортного средства будет построена в течение 2-3 лет. Предполагается, что она сможет развивать скорость до 1000 км/ч [7].

## Предпосылки

Американский изобретатель Дэрил Остер (Daryl Oster) в 1980 г. предложил идею новой (см. Предыстория) транспортной технологии. К 1990 г. он детально проработал эту технологию и в 1999 г. получил на нее патент. Система скоростного транспорта будущего принята к разработке в

специально созданной автором идеи компании Evacuated Tube Transport Technologies (ЕТТ).

Китайский специалист Чжан Яопин (Zhang Yaoping) [1], доктор технических наук по транспортной инженерии, познакомившись с патентом Дэрила Остера, высказал мысль о том, что данная транспортная технология является наилучшей для Китая и всего мира. В 2001 г. в Китае была куплена соответствующая лицензия.

По мнению китайского ученого Шена Жиуана (Shen Zhiyun), члена Китайской Академии Наук, вакуумная транспортная технология позволяет достичь сверхзвуковых скоростей [5]. Его коллега Чжан Яопин, являющийся, кроме того, другом патентодержателя на технологию ЕТТ Остера, и эксперт по магнитной левитации Ванг Джиасу (Wang Jiasu) занимаются данной проблемой с 2002 г., т.е. практически с тех пор, как по приглашению китайской стороны состоялся многомесячный визит в Китай Дэрила Остера с супругой. В пользу вакуумной транспортной технологии ЕТТ высказалась Китайская Академия Наук, а также NJT университет в Пекине и проектно-конструкторский институт китайского министерства железных дорог. Во время 4-х месячного пребывания в Китае Дэрил Остер оказал помощь доктору Чжану (Dr. Zhang) в организации исследований по ЕТТ в топовом университете по транспортным технологиям в Ченгду (SWJT University Chengdu).

По мнению китайских ученых, использование вакуумной стальной трубы вместо вакуумного туннеля, как это предлагается в США, является более простым и дешевым в воплощении техническим решением [6].

Вакуумная труба будет стоить менее 3 млн. долл. Это значительно меньше, чем затраты на сооружение трассы для рельсового транспорта, движущегося со скоростью 600 км/ч.

Пассажир занимает место в капсуле и путешествует в вакуумной трубе диаметром 1,5 м. Воздух из трубы постоянно выкачивается. Капсула ускоряется с помощью линейного синхронного двигателя. Т.к. в вакуумной трубе практически нет аэродинамического сопротивления, то для движения капсулы на большей части пути практически не требуется затрат энергии. Кроме того, когда капсула тормозится, энергия регенерируется. В результате энергетические затраты на передвижение данного транспортного средства оказываются в 50 раз меньше, чем традиционного транспортного средства с электрической тягой. Оптимальная скорость движения по территории государства – 600 км/ч, между государствами – 6 500 км/ч. К примеру, расстояние между Вашингтоном и Пекином может покрываться за 2 часа. Путешествие вокруг Света займет около 6 часов.

Перед посадкой в транспортное средство пассажир вводит наименование станции через компьютерный терминал и занимает свое место в капсуле (рис. 4).



Рис. 4. Автоматизированная загрузка и выгрузка капсул. Иллюстрация ET3.com

Капсула весом 183 кг, как автомобиль, доставляет 6 пассажиров (капсула повышенной комфортности) общим весом 367 кг или соответствующий груз. По сравнению с традиционным высокоскоростным транспортным средством стоимость материалов для изготовления капсул сопоставимой вместимости в 20 раз ниже.

Скорость капсулы зависит от расстояния. При ускорении  $1 \text{ м/с}^2$ , соответствующим санитарным нормам, для достижения капсулой скорости 6440 км/ч необходимо затратить 180 с. В течение этого времени покрывается расстояние 161 км. На трассах протяженностью до 1000 км крейсерская скорость транспортного средства должна составлять  $\sim 600 \text{ км/ч}$ .

Капитальные затраты на строительство магистрали с вакуумной трубой в 10 раз меньше, чем на аналогичную по протяженности рельсовую дорогу, и в 4 раза меньше, чем на автостраду (табл. 1, 2). Пропускная способность пары труб (в прямом и обратном направлении) соответствует автомагистрали с 2x16 полосами.

В 6 странах приобретено 60 лицензий ЕТТ стоимостью 100 долл. каждая, при условии 6-процентных отчислений от будущих доходов.

Таблица 1. Некоторые технические данные ЕТТ

Размеры и материал вакуумной трубы ЕТТ	Диапазоны скоростей
Внутренний диаметр 2÷5 м	Дозвуковой 600÷1 000 км/ч
Длина 600÷10 000 км	
Толщина стенки трубы: 20 мм, 18 мм, 16 мм и 14 мм, соответственно для труб с внутренним диаметром 5, 4, 3 и 2 м	Сверхзвуковой 6 000÷10 000 км/ч
(Железо) бетонная + стальная (толщина 3÷10 мм)	

Таблица 2. Потребность в конструкционных материалах и их стоимость

Диаметр вакуумной трубы, м	Толщина стенки стальной трубы, мм	Объем конструкционных материалов, м <sup>3</sup>	Масса конструкционных материалов, т	Стоимость 1 км стальной вакуумной трубы, млн. юань
5	20	315,256	2459,0	12,295
4	18	227,097	1771,4	8,857
3	16	151,523	1181,9	5,909
2	14	88,535	690,6	3,453

### **Глобальный проект «Трансатлантический туннель»**

Впервые идея туннеля между Лондоном и Нью-Йорком, в варианте с магнитной левитацией вагонов и откачкой воздуха, выдвинута в 1960-х годах и позже всплывала несколько раз. Проект не рассматривался в рабочем порядке, так как по оценкам специалистов сооружение плавающего или закрепленного на якорях трубопроводного транспортного сооружения является сложнейшей технической задачей и требует финансовых затрат в несколько триллионов долларов.

На рис. 5 иллюстрируется один из футуристических проектов трансатлантической вакуумной магнитолевитационной трассы.

Техническое решение одного из вариантов реализации вакуумной транспортной технологии ЕТТ воспроизводит рисунок из патента Дэрила Остера, US Patent 5950543 (рис. 6).

### **Проблемы реализации проекта по технологии ЕТТ**

- Материалы и технология строительства вакуумной трубы.
- Вакуумное оборудование.
- Технология создания, контроля и поддержания вакуума в трубе.
- Отвод тепла из транспортного средства.
- Конструктивные решения и бортовое оборудование для обеспечения герметичности транспортного средства.
- Защита вакуумной трубы от возможности электрического разряда в ней.

## Мнение специалистов Института медико-биологических проблем РАН

Идея создания вакуумного поезда интересна, но сопряжена с большим риском для пассажиров. Ведь в случае разгерметизации летящих, как пневмопочта, кабинок люди погибнут в считанные секунды. Если воздух будет просто разряжен, тогда спасти их будет проще, надев на всех кислородные маски и как можно быстрее причалить к ближайшей станции. В таком случае риск будет меньше, чем при разгерметизации самолета.

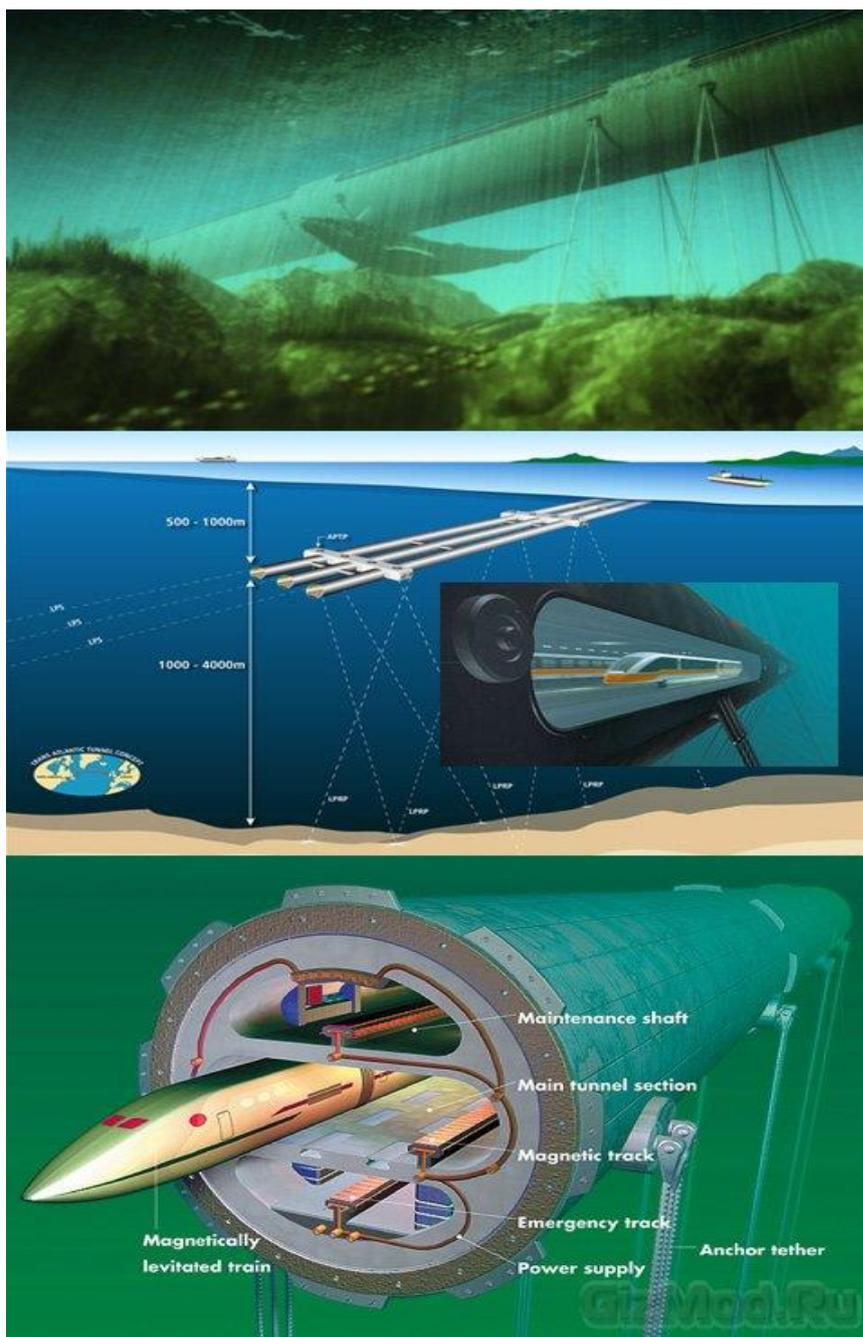


Рис. 5. Трансатлантический туннель. Иллюстрации Discovery Communications, travelvice.com, sketchucation.com, tunneltalk.com

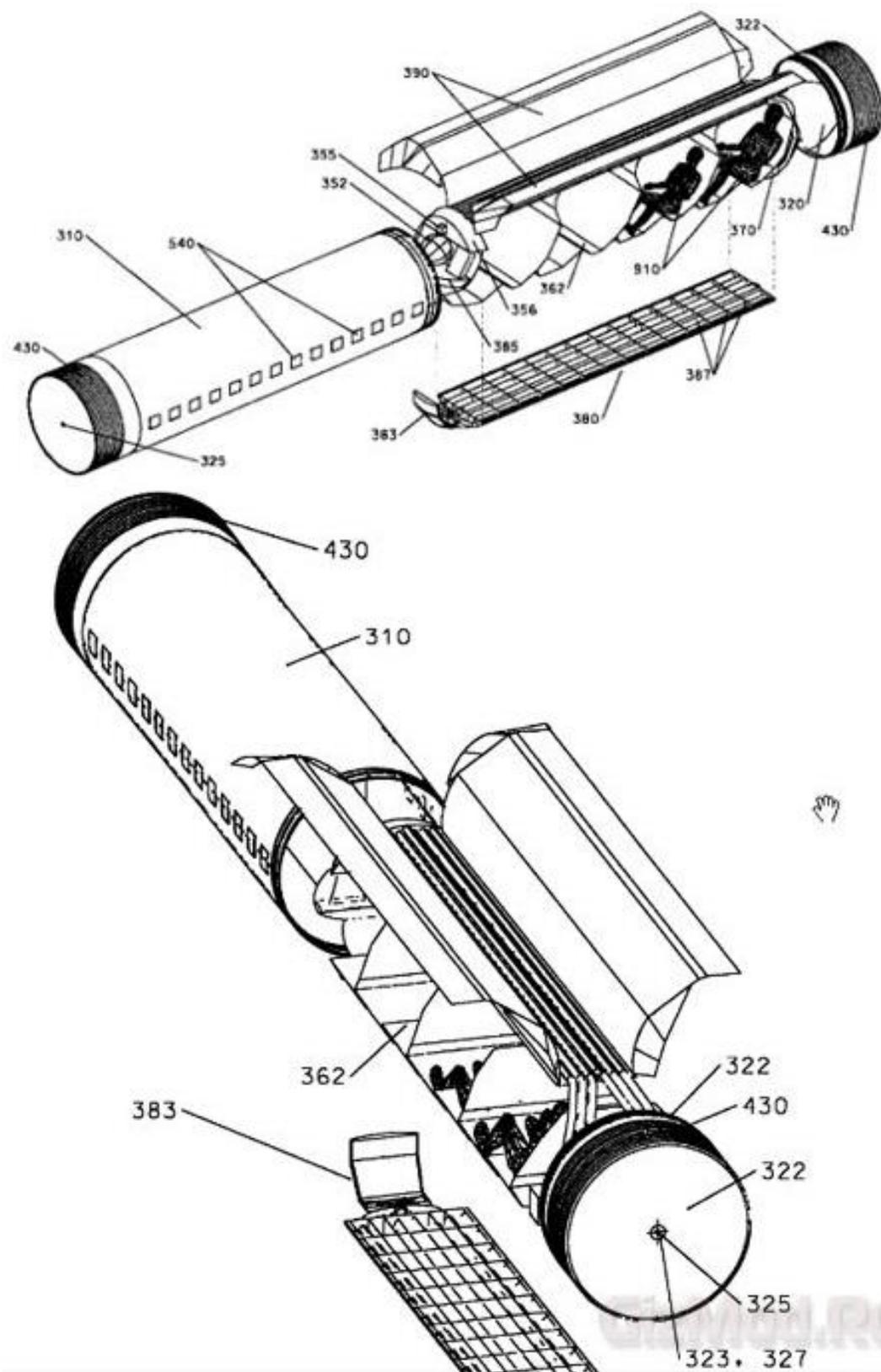


Рис. 6. Вакуумная транспортная труба и стартовая станция.  
Иллюстрация ET3.com

## **Заключение**

В статье рассмотрены следующие вопросы:

1. Определены оптимальные соотношения основных параметров системы, а именно: скорость – степень разрежения – габариты – грузоподъемность – энергоэффективность;
2. Определены риски при создании пассажирской транспортной системы;
3. Определены риски при создании грузовой транспортной системы;
4. Осуществлен выбор и обоснование способа создания и поддержания требуемого разрежения воздуха;
5. Произведена предварительная оценка энергетических затрат для обеспечения требуемого разрежения;
6. Произведена предварительная оценка особенностей применения магнитолевитационных технологий в разрабатываемом виде транспорта.

Результаты полученные на данном этапе работы и изложенные в статье, используются для дальнейшего физико-математического моделирования ключевых процессов работы транспортной системы.

## **Постскриптум**

России предлагают создание пути и поезда для сверхскоростных перевозок больших и тяжелых грузов, а также пассажиров. Поезд этот должен быть на основе магнитной левитации, то есть он должен двигаться на магнитной подушке. Тяговый двигатель - линейный синхронный. Для устранения сопротивления воздуха сверхбыстрому движению поезда его рекомендуют перемещать в вакуумной трубе. Однако вряд ли целесообразны и обоснованы такие скорости поезда, при которых воздух становится недопустимым препятствием. Есть, вероятно, в этом проекте много других умозрительных, слишком затратных и почти нереализуемых идей. Обеспечение вакуума в трубе и воздуха в вагонах – это большие и неоправданные дополнительные издержки и сложности. Поэтому авторы данного проекта пусть сперва сами сделают у себя такой супертранспорт, и только потом с уверенностью предлагают другим следовать их примеру. У нас должен быть свой, более реальный, простой, эффективный и менее затратный альтернативный проект сверхскоростного поездного транспорта.

В связи с вышеизложенным, в реальном проекте вакуумная труба должна быть исключена по ряду причин:

- Во-первых, сопротивление воздуха не критично и невелико по сравнению с силой тяги линейного синхронного двигателя.
- Во-вторых, атмосферный воздух можно и нужно использовать для создания дополнительной (наряду с левитацией) подъемной силы поезда над магнитным полотном путепровода (дороги).

Решения такого рода проблем на данный момент есть. Достаточно обратиться к опыту конструирования и технологии движения российских экранопланов, создававшихся под руководством главного конструктора Р. Е. Алексеева. Как известно, экраноплан – это своего рода гибрид корабля и самолета. В нем от самолета используется небольшой аэродинамический подъем судна над поверхностью воды или другой ровной поверхностью. Под днищем этого транспортного средства создается плотный поток воздуха, служащий подушкой или экраном, удерживающим экраноплан на небольшой высоте над водой. Этот же эффект надо использовать и для усиления подъема левитирующего магнитного поезда над желобообразным путепроводом. Сверхскоростной магнитолевитационный поезд тоже должен быть гибридным, то есть с элементами авионики, а для этого ему нужен атмосферный воздух. Конструктивные особенности этого самолетного элемента будущего магнитолевитационного сверхскоростного суперпоезда несложные. Это могут быть специальный носовой обтекатель, закрылки и шасси у днища вагонов. Принципиальным отличием будущего «летающего» суперпоезда будет использование в нем физического явления отталкивания бортовых и путевых магнитных полюсов, выполненных на базе использования высокоэнергетичных постоянных магнитов из редкоземельных металлов. И в этом вопросе есть оригинальные решения и практические наработки. Левитация с использованием постоянных магнитов не имеет электродинамического сопротивления, сопоставимого с аэродинамическим сопротивлением. В данном техническом решении отсутствуют потери и для работы не требуется электрическая мощность. Надо и можно по-новому решать принципиальные вопросы, опираясь на отечественные разработки, и тогда проблема создания сверхзвуковых грузовых и пассажирских поездов будет успешно решена. В обозримом будущем. Без привлечения непроверенных на практике зарубежных решений.

### **Библиографический список**

1. Чжоу Л., Шэн З. Ю. – № 19 (1). – С. 1-6.
2. Шанхай из международного аэропорта Пудун Луцзяцзуй. – URL: <http://www.transrapid.de/> (дата обращения: 06.06.2016). (на китайском языке).
3. Яманаси Маглев тест линии. – URL: <http://www.rtri.or.jp/> (дата обращения: 06.06.2016).
4. Остер Д. Космическое путешествие на Земле. – URL: <http://www.et3.com> (дата обращения: 06.06.2016).
5. Шен З. Ы. О перспективах развития высокоскоростного транспорта эвакуированная пробка в Китае // Вестник Юго-Западной транспортной Университет, 2005. – № 40 (2). – С. 133-137 (на китайском языке).

6. Чжоу Х., Чжан Ю. П., Яо Ю. Ф. Численное моделирование аэродинамического сопротивления скоростной поезд в вакуумированной трубе // Науки, технологий и техники, 2008. – № 8 (6). – С. 1626-1628.

7. Чжан П. Ю., Ли С. С., Лю Б. Л. Составная структура пробки с стальной слой и слой бетона, который совпадает с эвакуированного транспорта трубка. Китайский патент: 201020540727.6, 2010.09.26 (на китайском языке).

## References

1. Chzhou L. & Shehn Z. Yu. *Zhurnal sovremennogo transporta – Journal of Contemporary Transport*, 2011, no. 19 (1), pp. 1–6.

2. Shanhaj iz mezhdunarodnogo aehroporta Pudun Luczyaczuj [Shanghai from Pudong International Airport Lujiazui]. URL: <http://www.transrapid.de/> (2016/06/06) (In Chinese).

3. Yamanasi Maglev test linii [Yamanashi Maglev test line]. URL: <http://www.rtri.or.jp/> (2016-06-06).

4. Oster D. Kosmicheskoe puteshestvie na Zemle [Space travel on Earth]. URL: <http://www.et3.com> (2016/06/06).

5. Shen Z. Y. *Vestnik YUgo-Zapadnogo transportnogo Universiteta – The Bulletin of the South-Western Transport University*, 2005, no. 40 (2), pp. 133–137 (In Chinese).

6. Chzhou H., Chzhan Yu. P. & Yao Yu. F. *Nauki, tekhnologij i tekhniki – Science, technology and technology*, 2008, no. 8 (6), pp. 1626–1628.

7. Chzhan P. Yu., Li S. S. & Lyu B. L. Sostavnaya struktura probki s stal'noj sloj i sloj betona, kotoryj sovpadaet s ehvakuirovannogo transporta trubka. Kitaj patent: 201020540727.6, 2010/09/26 [A composite structure of cork with a steel layer and a layer of concrete that matches the evacuated transport tube. China Patent: 201020540727.6, 2010/09/26] (In Chinese).

### Сведения об авторах:

АНТОНОВ Юрий Федорович, д.т.н., профессор Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

E-mail: [yuri-anto@yandex.ru](mailto:yuri-anto@yandex.ru)

ЛИ Вэйли, д.т.н., профессор Пекинского Джиатонг университета

E-mail: [wlli@bjtu.edu.cn](mailto:wlli@bjtu.edu.cn)

### Information about authors:

Yurij F. ANTONOV, Doctor of Technical Sciences, Professor of Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

E-mail: [yuri-anto@yandex.ru](mailto:yuri-anto@yandex.ru)

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

УДК. 629.439

С. А. Казначеев, Т. С. Зименкова, А. С. Краснов

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СБОРОК МАГНИТНЫХ ПОЛЮСОВ НА ОСНОВЕ МАССИВА ХАЛЬБАХА

Дата поступления: 23.03.2017

Решение о публикации: 27.03.2017

Дата публикации: 30.04.2017

**Аннотация:** Одними из наиболее актуальных задач современных транспортных систем с точки зрения роста объемов и повышения качества, грузовых и пассажирских перевозок во всем мире, на сегодняшний день являются повышение скорости перевозок и снижение затрат энергетических ресурсов, связанных с этими перевозками. Данные задачи могут быть решены с помощью внедрения высокоскоростных, в частности магнитолевитационных транспортных систем. В данной статье приводятся описание и сравнительный анализ вариантов сборок магнитных полюсов на основе массива Хальбаха. Актуальность проведенных исследований подтверждена мировым опытом использования постоянных магнитов в области магнитолевитационных технологий в различных отраслях науки и техники.

**Целью** проведения исследований и сравнительного анализа вариантов сборок магнитных полюсов на основе массива Хальбаха является получение данных о возможности применения таких вариантов сборок в системах левитации магнитолевитационного транспорта [7], а также наглядное доказательство того, что математическое моделирование не позволяет в полной мере описать возникающие явления

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

Полученные **результаты** найдут свое применение при разработке конструкции, которая снизит как массогабаритные показатели, так и потребление энергии системы левитации. Практическая значимость полученных исследований заключается в возможности применения рассмотренных принципов практически в любых магнитолевитационных транспортных системах.

**Заключение:** На основании проведенных экспериментальных исследований получены данные о силах левитации и силах торможения, позволяющих сделать выводы о целесообразности применения данных вариантов сборок.

**Ключевые слова:** Магнитолевитационный транспорт, магнитолевитационный экспериментальный стенд, магнитный полюс, массив Хальбаха.

**Sergey A. Kaznacheev, Tatyana S. Zimenkova, Anton S. Krasnov**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СБОРОК МАГНИТНЫХ ПОЛЮСОВ НА ОСНОВЕ МАССИВА ХАЛЬБАХА

**Abstract:** Today, one of the most urgent tasks of modern transport systems in terms of volume growth and quality improvement, freight and passenger transportation worldwide, is to increase the speed of transportation and reduce the cost of energy resources associated with these transportations. These tasks can be solved by introducing high-speed, in particular magnetic-lev- el transport systems. In this paper, we describe and compare the variants of assemblies of magnetic poles based on the Halbach massif. The relevance of the studies carried out is confirmed by the world experience in the use of permanent magnets in the field of magneto-levitation technologies in various branches of science and technology.

**The purpose** of the research and comparative analysis of variants of assemblies of magnetic poles based on the Halbach massif is to obtain data on the possibility of using such assembly variants in levitation systems of magnetic-leav- ing transport [7], as well as visual proof that mathematical modeling does not allow to fully describe emerging phenomena

In this article, we use empirical methods of investigation.

**The results** obtained will find their application in the design of the design, which will reduce both the mass-dimensions and the energy consumption of the levitation system. The practical significance of the studies obtained lies in the possibility of applying the principles considered practically in any magnetic-levitation transport systems.

**Conclusion:** Based on the experimental studies, data were obtained on the levitation forces and the braking forces, which make it possible to draw conclusions about the advisability of using these assembly variants.

**Key words:** Maglev transport, maglev experimental stand, lateral stabilization, magnetic pole, Halbah array.

### Введение

Одной из главных и наиболее значимых на сегодняшний день задач [2, 8] при создании современного магнитолевитационного транспорта является снижение как массогабаритных показателей транспортных единиц, так и снижение потребления энергии, затрачиваемой на обеспечение левитации, боковой стабилизации и движения [4, 5, 6]. Обозначенная задача может быть решена путем использования в основных системах левитации магнитолевитационного транспорта постоянных магнитов [14, 15]. Используемые в настоящее время постоянные магниты NdFeB обладают всеми необходимыми качествами для использования их при решении данной задачи. В данной статье описаны три варианта сборок магнитных полюсов на основании массива Хальбаха [11, 13, 16] с применением постоянных магнитов NdFeB класса N45 [12]. Подтверждены результаты экспериментальных исследований сборок полюсов из элементарных магнитов по схеме, обеспечивающих практически удвоение значения

магнитной индукции в рабочей зоне и весьма малых магнитных полей рассеяния.

## 1. Описание сборок магнитных полюсов

Все рассматриваемые сборки магнитных полюсов строились по классической схеме массива Хальбаха (рис.1). Применение такой схемы позволяет получить максимальное значение магнитного поля в рабочем зазоре и минимальные значения полей рассеяния [1].

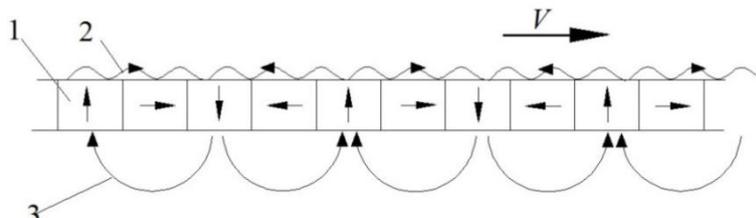


Рис. 1. Схематическое изображение простейшей сборки из постоянных магнитов:  
1 - простейшая сборка из постоянных магнитов; 2 – магнитное поле рассеяния;  
3 – магнитное поле в рабочем зазоре

На рис. 2 - 4 приведены схемы рассматриваемых сборок и распределение магнитных силовых линий, полученных посредством визуализатора магнитного поля [9].

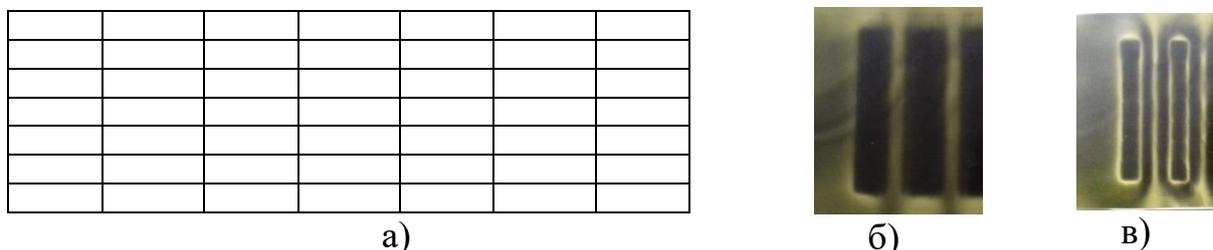


Рис. 2. Упрощенная сборка Хальбаха

- а) - схема сборки магнитов;  
б) - магнитные силовые линии рабочей стороны магнитного полюса;  
в) - магнитные силовые линии обратной стороны магнитного полюса

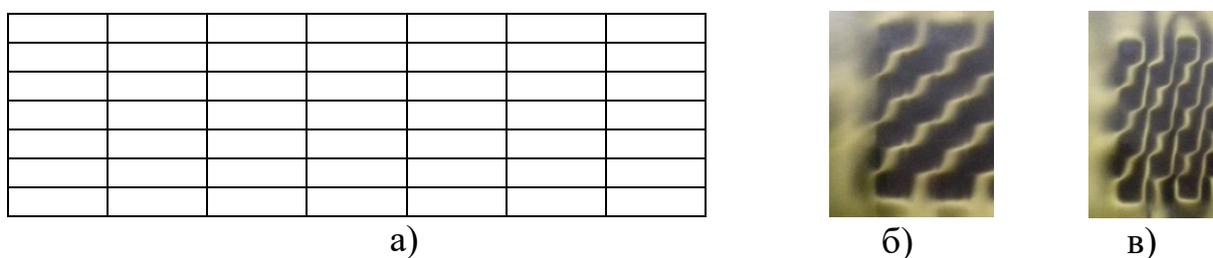
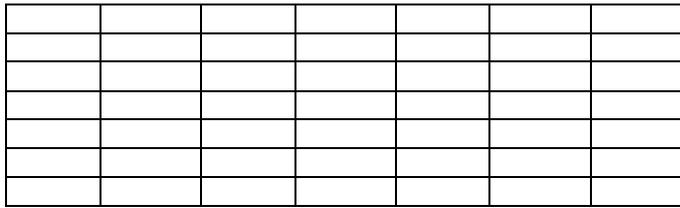
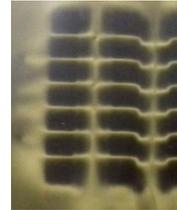


Рис. 3. Сборка №1 на основе массива Хальбаха

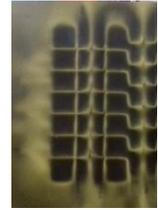
- а) - схема сборки магнитов;  
б) - магнитные силовые линии рабочей стороны магнитного полюса;  
в) - магнитные силовые линии обратной стороны магнитного полюса



а)



б)



в)

Рис. 4. Сборка №2 на основе массива Хальбаха

а) - схема сборки магнитов;

б) - магнитные силовые линии рабочей стороны магнитного полюса;

в) - магнитные силовые линии обратной стороны магнитного полюса

## 2. Описание экспериментального стенда

Существуют различные средства и методы измерений магнитных параметров материалов [3].

Описанные исследования проводились на магнитолевитационном экспериментальном стенде, общий вид которого приведен на рис. 5.

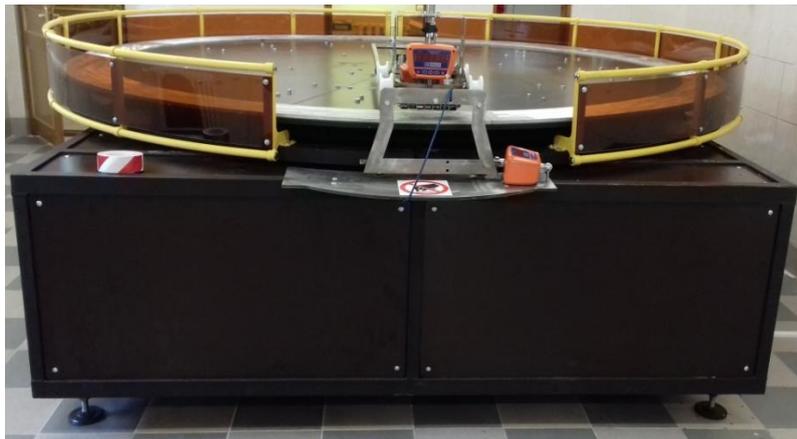


Рис. 5. Общий вид экспериментального стенда, установленного в НИИ «Магнитоэлектрические транспортные системы»

Стенд состоит из вращающегося диска диаметром 3 м, на котором крепится трековый модуль, изготовленный из сплошного листа алюминия толщиной 10 мм. Вращение обеспечивается двигателем, установленным под диском, мощностью 3,5 кВт.

Исследуемый образец сборки магнитного полюса располагается непосредственно над трековым модулем. Регулирование скорости вращения диска осуществляется с помощью преобразователя частоты. В состав приборного оснащения экспериментальной установки входят датчики усилия, с помощью которых фиксируются силы, действующие на исследуемую сборку магнитного полюса вследствие возникновения динамической левитации.

### 3. Экспериментальные исследования упрощенной сборки Хальбаха

Экспериментальные исследования проводились по схемам, показанным на рис. 6. Целью данных исследований являлось получение сравнительных характеристик по показателям подъемная сила, сила торможения и сила поперечного сдвига.

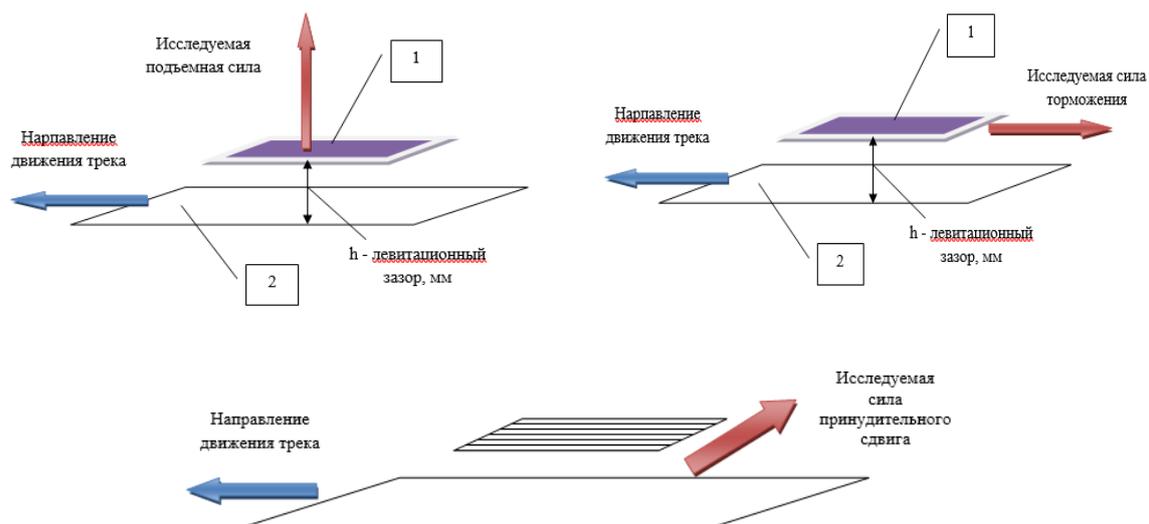


Рис. 6. Схемы экспериментальных исследований

1 – исследуемая сборка магнитного полюса; 2 – трековый левитационный модуль

В ходе проведения исследований получены следующие результаты по упрощенной сборке Хальбаха:

1. При левитационном зазоре от 6 до 13 мм величина силы торможения не позволяет асинхронному двигателю мощностью 3 кВт, оборудованным редуктором с передаточным числом 7,5 к 1 создать скорость движения выше 6 - 9 м/с (рис. 7). При достижении данных скоростей система безопасности и управления двигателем производит аварийное отключение из-за превышения допустимых нагрузок;

2. При зазоре между трековым модулем и магнитным полюсом от 16 мм и выше наблюдается снижение сил сопротивления при достижении скорости движения 12 м/с;

3. При достижении скорости 12-13 м/с наблюдается существенное снижение сил сопротивления движению;

4. При скорости движения свыше 13 м/с, характеристика снижения сил торможения приобретает более стабильный и пологий вид, продолжая при этом снижаться;

5. Процесс левитации при зазоре между путевым треком и сборкой магнитного полюса в 16 мм начинается при скорости 7 ... 7,5 м/с (рис. 8);

6. При малых скоростях движения сила торможения создает "обратный" эффект и жестко закрепленный образец сборки магнитного полюса притягивает вслед за движущимся треком.

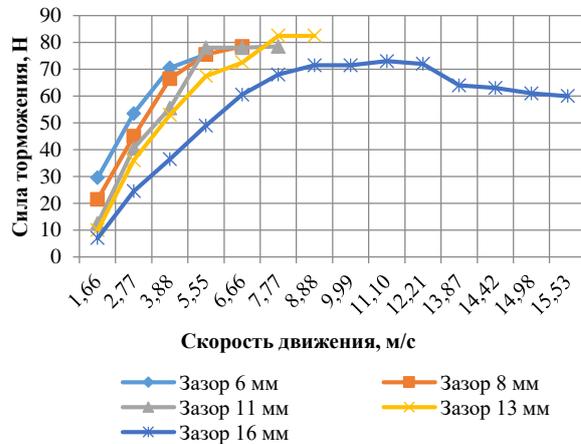


Рис. 7. Зависимость силы торможения при изменении левитационного зазора и скорости движения магнитного полюса

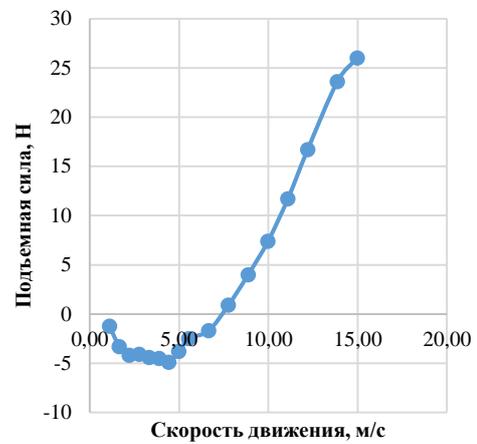


Рис. 8. Зависимость подъемной силы от скорости движения полюса при левитационном зазоре 16 мм

С увеличением скорости проявляется выраженный эффект демпфирования (рис. 9), который не является стабилизирующей силой, так как не возвращает конструкцию в исходную точку.

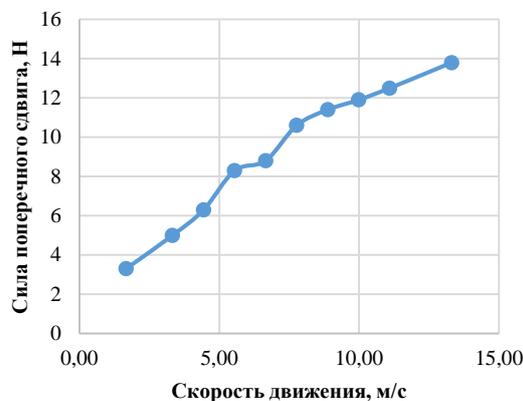


Рис. 9. Зависимость изменения силы поперечного сдвига от скорости движения магнитного полюса (силовые линии вдоль вектора движения)

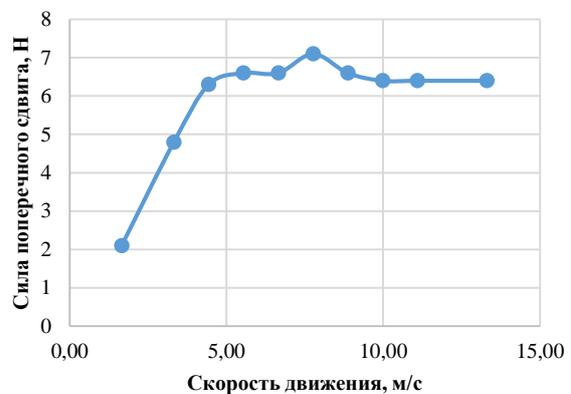


Рис. 10. Зависимость изменения силы поперечного сдвига от скорости движения магнитного полюса (силовые линии поперек вектора движения)

При увеличении скорости до 6 м/с наблюдается рост силы поперечного принудительного сдвига (рис.10). По достижении скорости 7,7 м/с и выше характеристика зависимости силы поперечного сдвига от скорости движения принимает пологий вид.

В ходе эксперимента доказано, что математическое моделирование не позволяет в полной мере описать возникающие явления. Как видно из рис. 11 [10], при малых скоростях подъемная сила нулевая, однако при эмпирических исследованиях, подъемная сила отрицательная в том же диапазоне скоростей, вследствие «притягивания» полюса под действием возникающих сил торможения.

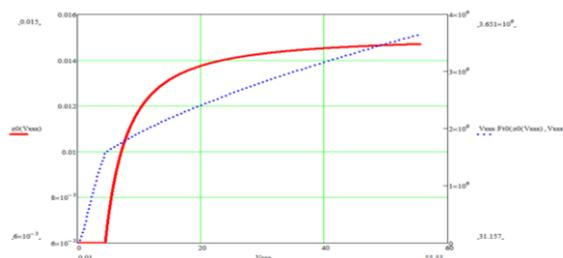


Рис. 11. Зависимость подъемной силы и мощности потерь от скорости движения

#### 4. Экспериментальные исследованияборок магнитных полюсов №1 и №2

При расположении магнитного полюса №1 над треком таким образом, чтобы магнитные силовые линии располагались по диагонали к осевой линии трека (при этом трубки с магнитами расположены вдоль осевой линии трека), подъемная сила возникает при скорости движения от 9 м/с, но она недостаточна применительно к магнитолевитационному транспорту.

В зависимости от воздушного зазора между полюсом и треком показатели изменяются не существенно.

При расположении магнитного полюса над треком таким образом, чтобы магнитные силовые линии располагались параллельно осевой линии трека, незначительная подъемная сила возникает при скорости движения от 6,7 м/с. Полагается, что такие значения сил левитации малы, чтобы рассматривать их в качестве основной подъемной силы магнитолевитационного транспорта. Силы стабилизации и силы торможения минимальны.

С увеличением воздушного зазора между магнитным полюсом и трековым модулем показатели силы левитации уменьшаются, показатели силы стабилизации и торможения также ухудшаются.

При расположении магнитного полюса над треком таким образом, чтобы магнитные силовые линии располагались перпендикулярно осевой линии, подъемная сила в ходе всего эксперимента не достигла положительных значений. Силы торможения пропорционально увеличивается с ростом скорости движения, при скорости движения свыше 8 м/с происходит аварийное отключение двигателя. С увеличением воздушного зазора между полюсом и треком показатели силы левитации и стабилизации не изменяются.

При расположении магнитного полюса над треком таким образом, чтобы магнитные силовые линии располагались параллельно осевой линии трека, подъемная сила в ходе всего эксперимента не наблюдалась.

Полученные данные этой серии испытаний говорят о том, что при вышеописанной схеме сборки магнитного полюса и трека работа не возможна ввиду неудовлетворительных значений сил левитации и стабилизации.

Проведя полную серию испытаний со сборкой магнитного полюса №2, все результаты можно назвать отрицательными.

### **Заключение**

В результате проведенных исследований получены данные о целесообразности использования различных вариантов сборок магнитных полюсов. При использовании в качестве путевого трека гладкой алюминиевой полосы рекомендуется использование магнитного полюса собранного на основе классического массива Хальбаха. Применение сборок магнитных полюсов №1 и №2, при использовании такого трекового модуля нецелесообразно, однако данные варианты сборок могут показать положительные результаты при использовании других конструкций путевых треков.

### **Библиографический список**

1. Антонов Ю. Ф. Магнитолевитационная транспортная технология / Ю. Ф. Антонов, А. А. Зайцев // под ред. А. А. Гапановича. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014 г.
2. Бахвалов Ю. А. Транспорт с магнитным подвесом / Ю. А. Бахвалов, В. И. Бочаров, В. А. Винокуров, В. Д. Нагорский. – М.: Машиностроение, 1991.
3. Антонов В. Г. Средства измерений магнитных параметров материалов / В. Г. Антонов, Л. М. Петров, А. П. Щелкин. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Винокуров В. А. Наземный транспорт на новых технологических принципах: Монография / В. А. Винокуров, А. А. Галенко, А. Т. Горелов, А. Н. Фиронов // под ред. В. А. Винокурова. – М.: МИИТ, 2004, часть I – 185 с..
5. Винокуров В. А. Наземный транспорт на новых технологических принципах: Монография / В. А. Винокуров, А. А. Галенко, А. Т. Горелов, А. Н. Фиронов // под ред. В. А. Винокурова. – М.: МИИТ, 2004, часть II. – 140 с.
6. Дзензерский В. А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев, В. И. Матин, С. А. Сергеев. – Киев: Наукова думка, 2001.

7. Зайцев А. А. Особенности магнитолевитационной технологии для общественного транспорта / А. А. Зайцев, Ю. Ф. Антонов // Известия ПГУПС. – 2012. – Вып. 3. – с. 11-18.
8. Кочетков В. М. Теория электродинамической левитации. Основные результаты и дальнейшие задачи / В. М. Кочетков, К. И. Ким, И. И. Трещев // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1981. – №1.
9. Магнитный индикатор – URL: <http://magnet-prof.ru/index.php/Magnitnyiy-indikator/Magnitnyiy-indikator-210x297mm/flypage.tpl.html> (дата обращения: 12.09.2016).
10. НПК «Энергодвижение» / Расчет левитационной опоры // Справка-отчет. Санкт-Петербург, 2016.
11. Пат. 6664880 USA. Inductrack magnet configuration / R. F. Post. – Оpubл. 09.01.2003.
12. Таблица магнитных характеристик неодимовых магнитов (материалов NdFeB) – URL: <http://powermagnet.by/neodimovye-magnityi-harakteristiki> (дата обращения: 28.11.2016).
13. Halbach K., Design of Permanent Multipole Magnets with Oriented Rare Earth Cobalt Material. Nuclear Instruments and Methods. - 1980. - pp. 1-10.
14. Murai T., Fujiwara S. Characteristics of combined propulsion, levitation and guidance system with asymmetric figure between upper and lower coils in EDS, Trans. IEE Jpn., 116-D, 1996, – 128 p.
15. Pope D. Halbach Arrays Enter the Maglev Race. The Industrial Physicist. – 2003. – № 4 – pp. 12-15.
16. Sawada Kazuo. Technological Development of the Superconducting Magnetically Levitated Train. Japanese railway engineering, 2008. – № 160. – pp. 29-33.

## References

1. Antonov Yu. F. & Zaytsev A. A. Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya [Magnetic Levitation Ttransport Technology]. Moscow, 2014. 476 p.
2. Bahvalov Yu. A. Bocharov V. I., Vinokurov & Nagorskij V. D. Transport s magnitnym podvesom [Transport with magnetic suspension]. Moskow, 1991.
3. Antonov V. G., Petrov L. M., SHCHelkin A. P. Sredstva izmerenij magnitnyh parametrov materialov [Means of measuring magnetic parameters of materials]. Leningrad, 1986.
4. Vinokurov V. A., Galenko A. A., Gorelov A. T. & Fironov A. N. Nazemnyj transport na novyh tekhnologicheskikh principah: Monografiya [Ground transportation on new technological principles: Monograph]. Moskow, 2004, vol. I, 185 p.
5. Vinokurov V. A., Galenko A. A., Gorelov A. T. & Fironov A. N. Nazemnyj transport na novyh tekhnologicheskikh principah: Monografiya

[Ground transportation on new technological principles: Monograph]. Moscow, 2004, vol. II, 140 p.

6. Dzenzerskij V. A., Omel'yanenko V. I., Vasil'ev S. V., Matin V. I. & Sergeev S. A. Vysokoskorostnoj magnitnyj transport s ehlektrodinamicheskoy levitaciej [High-speed magnetic transport with electrodynamic levitation]. Kiev, 2001.

7. Zajcev A. A. & Antonov Yu. F. *Izvestiya PGUPS – News of PSTU*, 2012, no. 3. pp. 11–18.

8. Kochetkov V. M., Kim K. I. & Treshchev I. I. *Izv. AN SSSR. EHnergetika i transport – Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Energy and transport*, 1981, №1.

9. Magnitnyj indikator [The magnetic indicator]. URL: <http://magnet-prof.ru/index.php/Magnitnyiy-indikator/Magnitnyiy-indikator-210x297mm/flypage.tpl.html> (12/09/2016)

10. Raschet levitacionnoj opory. Spravka-otchet NPK «EHnergodvizhenie» [Calculation of levitation support. Help-report NPK «EHnergodvizhenie»]. St. Peterburg, 2016.

11. Post R. F. Pat. 6664880 USA. Inductrack magnet configuration (09/01/2003).

12. Tablica magnitnyh harakteristik neodimovyh magnitov (materialov NdFeB) [Table of magnetic characteristics of neodymium magnets (NdFeB materials)]. URL: <http://powermagnet.by/neodimovye-magnity-harakteristiki> (28/11/2016).

13. Halbach K. Design of Permanent Multipole Magnets with Oriented Rare Earth Cobalt Material. *Nuclear Instruments and Methods*, 1980, pp. 1–10.

14. Murai T. & Fujiwara S. Characteristics of combined propulsion, levitation and guidance system with asymmetric figure between upper and lower coils in EDS, *Trans. IEE Jpn.*, 116-D, 1996, 128 p.

15. Pope D. *The Industrial Physicist*, 2003, no. 4, pp. 12–15.

16. Kazuo S. *Japanese railway engineering*, 2008, № 160, pp. 29–33.

#### **Сведения об авторах:**

КАЗНАЧЕЕВ Сергей Александрович, инженер НИЛ «Магнитоэлектрические транспортные системы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I  
E-mail: kaznacheeff.serezha@yandex.ru

ЗИМЕНКОВА Татьяна Сергеевна, аспирант, инженер НИЛ «Магнитоэлектрические транспортные системы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I  
E-mail: tatyana.zimenkova@gmail.com

КРАСНОВ Антон Сергеевич, преподаватель кафедры «Теплотехника» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I  
E-mail: anton.s.krasnov@gmail.com

**Information of authors:**

Sergey A. KAZNACHEEV, eng., Emperor Alexander I Petersburg State Transport University  
E-mail: kaznacheeff.serezha@yandex.ru

Tatyana S. ZIMENKOVA, eng., postgraduate student, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University  
E-mail: tatyana.zimenkova@gmail.com

Anton S. KRASNOV, lecturer in "Heat" Emperor Alexander I Petersburg State Transport University  
E-mail: anton.s.krasnov@gmail.com

**В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе**  
Институт транспортных систем и технологий  
Национальной академии наук Украины

## **ИНТЕГРАТИВНАЯ МОДЕЛЬ ТЯГОВОЙ СИЛЫ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА**

Дата поступления: 23.12.2016

Решение о публикации: 27.03.2017

Дата публикации: 30.04.2017

**Аннотация: Цель.** Реализация тяги (РТ) двигателем магнитолевитирующего поезда (МЛП) происходит в процессе преобразования подводимой электрической энергии в кинетическую при взаимодействии магнитных полей индуктора и якоря. Исходя из этого, целью настоящего исследования является получение корректного описания такого энергопреобразования. На современном этапе, основным и наиболее универсальным инструментом анализа и синтеза процессов и систем является их математическое и, в частности, компьютерное моделирование.

**Методика.** В то же время, радикальные преимущества этого инструмента делают ещё более важной прецизионность выбора конкретной методики проведения исследования. Особую актуальность это имеет по отношению к столь большим и сложным системам, какими являются МЛП. По этой причине, в работе особое внимание уделено аргументированному обоснованию выбора селективных особенностей исследовательской парадигмы.

**Результаты.** Результаты анализа существующих версий модели процесса РТ свидетельствуют о том, что каждая из них, наряду с преимуществами, обладает и существенными недостатками. В связи с этим, одним из основных результатов исследования должно явиться построение математической модели указанного процесса, сохраняющей преимущества упомянутых версий, но свободной от их недостатков. В работе аргументировано обоснована рациональность применения, для целей исследования РТ двигателя поезда, интегративной холистической парадигмы, ассимилирующей преимущества теорий электрических цепей и магнитного поля.

**Научна новизна.** Приоритетность создания такой парадигмы, а также соответствующей версии модели РТ составляют научную новизну исследования.

**Практическая значимость.** Основным проявлением практической значимости работы является возможность, в случае использования её результатов, существенного повышения эффективности динамических исследований МЛП при одновременном неповышении их ресурсоёмкости.

**Ключевые слова:** магнитолевитирующий поезд; линейный синхронный двигатель; тяговая сила; интегративная математическая модель.

**V. A. Polyakov, N. M. Hachapuridze**

Institute of Transport Systems and Technologies of Ukraine's National Academy of Sciences

## INTEGRATIVE MODEL OF A MAGNETICALLY LEVITATED TRAIN'S TRACTION FORCE

**Annotation:** Magnetically levitated train's (MLT) motor's traction force realization (TFR) occurs in the process of electromechanical energy transformation by inductor's and armature's magnetic fields interaction. Accordingly, **the aim of this study** is to obtain a correct description of such energy transformation. At the present stage, a mathematical and, in particular, computer simulation is the main and most universal tool of process's and system's analysis and synthesis. At the same time, a radical advantage of this tool makes it even more important precision selecting a particular **methodology of the study**. Especially important it is for such a large and complex system, which is an MLT. Therefore the special attention in the work is given to the reasoned choice and substantiation of research paradigm's selective features. The results of analysis of existing versions of TFR process model indicate that each of these versions possesses both advantages and disadvantages. Therefore, one of the main **results of this study** should be the creation of a mentioned process's mathematical model's new version. The created version of the model should preserve the advantages of previous versions, but to be free of their disadvantages. The rationality of application, for the purposes of motor's TFR process research, of the integrative holistic paradigm was convincingly proved in the work. The priority of creation of such paradigm and corresponding version of the TFR process model constitute the **scientific novelty of research**. The main manifestation of **practical value of this research** in the opportunity, in case of use of its results, of a significant increasing of efficiency of MLT's dynamic investigations, on the condition that their generalized costs will not increase.

**Keywords:** magnetically levitated train, linear synchronous motor, traction force, integrative mathematical model.

### Введение

Во многих случаях для целей тяги магнитолевитирующих поездов (МЛП) целесообразно использовать линейные синхронные двигатели (ЛСД) [3, 12, 13, 14, 16]. Процессы, протекающие в их различных элементах, взаимосвязаны и являются частями единого суперпроцесса электромагнитно-механического энергопреобразования. Существенная сложность таких процессов побуждает исследователей к поиску путей сепаратного изучения их отдельных компонентов, ключевым из которых является электромагнитный. Его составляющие порознь с успехом могут изучаться [4, 15, 17] в рамках теорий электрических цепей, либо электромагнитного поля. Поэтому, различные версии математической модели (ММ) тяговой силы (ТС) МЛП строились [8, 9, 19] исходя из указанных автономных парадигм её моделирования.

Анализ свойств имеющихся версий ММ ТС МЛП свидетельствует о том, что каждая из них обладает как преимуществами, так и недостатками. Версии модели, исходящие из теории электрических

цепей, достаточно функциональны. Но основным недостатком их уравнений является нестационарность коэффициентов, вызываемая переменностью значений взаимных индуктивностей контуров фаз якоря, как между собой, так и с контурами возбуждения, при изменении положения муфтера (подвижных частей ЛСД). Это снижает ценность версий, поскольку затрудняет моделирование [11]. Версии же модели, базирующиеся на теории поля, менее ресурсоёмки, однако и менее практичны – вследствие ограниченности их общности, вызываемой недостаточной адекватностью предпосылок построения этих версий.

### Задача исследования

Изложенное свидетельствует об актуальности создания ММ ТС МЛП, ассимилирующей достоинства имеющихся версий такой модели, но свободной от их недостатков [5, 11, 18, 20]. Синтез такой модели является основной задачей настоящей работы.

### Методика исследования

ТС ЛСД является результатом взаимодействия, неподвижных друг относительно друга, магнитных полей токов его индуктора и якоря. Поэтому, при построении искомой ММ ТС, в качестве её паттерна должен быть принят элементарный акт такого взаимодействия, который может быть описан выражением закона Ампера [1]:

$$f_{\lambda\chi} = l_{\lambda\chi} \cdot i^{\lambda} \cdot B_{\lambda\chi} \cdot \sin \alpha_{\lambda\chi}, \quad (1)$$

где  $f_{\lambda\chi}$  – сила взаимодействия полей, создаваемых токами, текущими в цепях  $\chi$ -го прямолинейного элемента  $\lambda$ -го контура индуктора двигателя и его якоря;

$l_{\lambda\chi}, i^{\lambda}, B_{\lambda\chi}, \alpha_{\lambda\chi}$  – длина упомянутого элемента, ток в нём, индукция (условно однородного – в пределах элемента) магнитного поля, в котором элемент находится, а также угол между  $\vec{i}^{\lambda}$  и  $\vec{B}_{\lambda\chi}$ .

Расчётные схемы обмоток возбуждения и якоря двигателя приняты, соответственно, в виде набора гальванически не связанных токопроводящих прямоугольных рамок, соответствующих контурам криомодулей, и трёхфазной электрической сети, каждой фазе которой соответствует отдельный контур. Тогда, в произвольный момент времени, тяга двигателя определима как векторная сумма величин  $\vec{f}_{\lambda\chi} \forall \lambda \in [1, N], \chi \in [1, 4]$ , каждая из которых, – это результат взаимодействия поля тока в одном из упомянутых прямолинейных элементов контуров возбуждения с полем, создаваемым

токами якорной обмотки. В последнем выражении,  $N$  – число контуров возбуждения двигателя.

Электродинамика двигателя может быть описана уравнениями второго закона Кирхгофа [1]. Подсистема “контур возбуждения – якорная обмотка”, как правило, вырождена [7] – ёмкостные показатели её элементов пренебрежимо низки. Потому, в инерциальной системе отсчёта  $Qi^v \forall v \in [A, B, C, M]$ , указанным уравнениям может быть придан вид [1]:

$$u_\rho = L_\rho \cdot \frac{d}{dt} i^\rho + L_{\rho\mu} \cdot \frac{d}{dt} i^\mu + r_\rho \cdot i^\rho \quad \forall \rho, \mu \in [A, B, C, M], \quad (2)$$

где  $u_\rho, L_\rho, L_{\rho\mu}, r_\rho \quad \forall \rho, \mu \in [A, B, C, M]$  – электродвижущие силы (э. д. с.) источников, собственные и взаимные индуктивности, а также омические сопротивления элементов описываемой парциальной подсистемы;

$i^\rho \quad \forall \rho \in [A, B, C, M]$  – токи в контурах якоря и возбуждения;

$A, B, C, M$  – индексы, соответствующие этим контурам;

$t$  – текущее время.

Поскольку муотер ЛСД движется относительно его статора, то многие из величин  $L_{\rho\mu} \quad \forall \rho, \mu \in [A, B, C, M]$  имеют переменные во времени значения. Это, в свою очередь, приводит к нестационарности коэффициентов уравнений (2) и, как отмечено, существенно снижает практическую ценность версии модели. С целью устранения указанного недостатка, ТС ЛСД следует рассматривать относительно координатной системы, в которой обмотки двигателя условно взаимно неподвижны. В таком качестве, удобнее всего принять [11] отсчётную систему  $C_\alpha \eta^\lambda \quad \forall \lambda \in [\overline{1, 3}]$ , жёстко связанную с  $\alpha$ -тым контуром обмотки возбуждения двигателя. Инерциальной  $C_\alpha \eta^\lambda \quad \forall \lambda \in [\overline{1, 3}]$ , в общем случае, не является. В то же время, весьма желательно [6], чтобы уравнения, описывающие динамику электрической подсистемы ЛСД в координатах  $\eta^\lambda \quad \forall \lambda \in [\overline{1, 3}]$ , имели тензорный характер. Такие уравнения могут быть получены [10], из равенств типа (2), путём замены в них локальных производных  $\frac{d}{dt}$

абсолютными  $\frac{D}{dt}$ , а также перехода в этих равенствах к координатам  $\eta^\lambda \quad \forall \lambda \in [\overline{1, 3}]$ . По отношению к произвольному вектору  $\eta^\beta$ , соотношение между упомянутыми производными, как известно, имеет вид [10]:

$$\frac{D}{dt} \eta^\beta = \frac{d}{dt} \eta^\beta + e_{\beta\kappa\nu} \cdot \omega_\kappa \cdot \eta^\nu, \quad (3)$$

где  $e_{\beta\kappa\nu}, \omega_\kappa$  - символ Леви-Чивита, а также вектор угловой скорости вращения  $C_\alpha \eta^\lambda \quad \forall \lambda \in [\overline{1, 3}]$ .

После осуществления указанной замены производных, соотношения, полученные из (2), приобретают тензорный характер. Поэтому, в частности, их форма становится инвариантной по отношению к координатам, в которых они записаны. Переход же к координатам  $\eta^\lambda \forall \lambda \in [\overline{1,3}]$  выполняется согласно выражениям:

$$\eta^\lambda = \mathcal{G}_\rho^\lambda \cdot i^\rho \forall \rho \in [A, B, C, M]; \lambda \in [\overline{1,3}], \quad (4)$$

где  $\mathcal{G}_\rho^\lambda$  – матрица преобразования координат:

$$\mathcal{G}_\rho^\lambda = \frac{\partial \eta^\lambda}{\partial i^\rho} \forall \rho \in [A, B, C, M]; \lambda \in [\overline{1,3}]. \quad (5)$$

В свою очередь, выражения для связей вида

$$\eta^\lambda = \eta^\lambda(i^\rho) \forall \rho \in [A, B, C, M]; \lambda \in [\overline{1,3}] \quad (6)$$

могут быть получены исходя из того, что [11], в процессе описываемого координатного преобразования, одним из его инвариантов являются, в частности, амплитудные значения токов, протекающих в рассматриваемых контурах.

С помощью же матрицы

$$\mathcal{G}_\lambda^\rho = \frac{\partial i^\rho}{\partial \eta^\lambda} = (\mathcal{G}_\rho^\lambda)^T \forall \rho \in [A, B, C, M]; \lambda \in [\overline{1,3}], \quad (7)$$

осуществимо обратное преобразование

$$i^\rho = \mathcal{G}_\lambda^\rho \cdot \eta^\lambda \forall \rho \in [A, B, C, M]; \lambda \in [\overline{1,3}]. \quad (8)$$

После описанных преобразований, уравнения (2) приобретают вид

$$u_\lambda = L_\lambda \cdot \left( \frac{d}{dt} \eta^\lambda + e_{\lambda\alpha\nu} \cdot \omega_\alpha \cdot \eta^\nu \right) + L_{\lambda\zeta} \cdot \left( \frac{d}{dt} \eta^\zeta + e_{\zeta\alpha\sigma} \cdot \omega_\alpha \cdot \eta^\sigma \right) + r_\lambda \cdot \eta^\lambda \quad (9)$$

$$\forall \lambda, \nu, \zeta, \sigma \in [\overline{1,3}].$$

Таким образом, уравнения (9) имеют постоянные коэффициенты, являются тензорными и описывают электродинамику ЛСД в координатах  $\eta^\lambda \forall \lambda \in [\overline{1,3}]$ . После их (как правило – численного) разрешения относительно переменных  $\eta^\lambda \forall \lambda \in [\overline{1,3}]$ , последние, с использованием соотношений (8), могут быть преобразованы в координаты  $i^\rho \forall \rho \in [A, B, C, M]$ , значения которых определяют реальные токи в контурах двигателя.

Магнитная цепь ЛСД предполагается ненасыщенной [9]. Поэтому она может считаться условно-линейной подсистемой и, следовательно, к ней применим принцип аддитивности. Исходя из этого, результирующее поле фазы якорной обмотки двигателя в любой точке геометрического пространства  $O\Xi_\chi \forall \chi \in [\overline{1,3}]$ , в котором реально движется муфтер относительно статора, может описываться как сумма полей, создаваемых в этой точке отдельными катушками такой фазы:

$$B_{\alpha q} = B_{\alpha \kappa q} \cdot e^{\kappa}; e^{\kappa} = 1 \forall \kappa \in [\overline{1, n_p}], q \in [\overline{1, 3}], \quad (10)$$

где  $n_p$  – число прямоугольных катушек [3], включённых в каждую из фаз якоря;

$B_{\alpha q}, B_{\alpha \kappa q} \forall \kappa \in [\overline{1, n_p}]; q \in [\overline{1, 3}]$  – пространственные компоненты индукции поля, создаваемого всей обмоткой фазы  $\alpha$  якоря, а также её отдельными катушками в рассматриваемой точке этого пространства.

В свою очередь, значения величин  $B_{\alpha \kappa q} \forall \kappa \in [\overline{1, n_p}]; q \in [\overline{1, 3}]$  определимы согласно выражениям [2]:

$$\begin{aligned} B_{\alpha \kappa 1} &= -\frac{i^*}{4 \cdot \pi} \cdot \left\{ \left[ F_{12}(k_1', \varphi', \eta) + F_{12}(k_3', \varphi', \eta) \right]_{\substack{\varphi_1' = x_0 - l \\ \varphi_2' = x_0 - l - d}} - \right. \\ &\quad \left. - \left[ F_{12}(k_2', \psi', \eta) + F_{12}(k_4', \psi', \eta) \right]_{\substack{\psi_1' = x_0 + l \\ \psi_2' = x_0 + l + d}} \right\} \left. \begin{array}{l} \eta_2 = z_0 - h \\ \eta_1 = z_0 + h \end{array} \right\}; \\ B_{\alpha \kappa 2} &= -\frac{i^*}{4 \cdot \pi} \cdot \left\{ \left[ F_{12}(k_1, \varphi, \eta) + F_{12}(k_4, \varphi, \eta) \right]_{\substack{\varphi_1' = x_0 + l \\ \varphi_2' = x_0 + l + d}} - \right. \\ &\quad \left. - \left[ F_{12}(k_2, \psi, \eta) + F_{12}(k_3, \psi, \eta) \right]_{\substack{\psi_1 = y_0 + a \\ \psi_2 = y_0 + a + d}} \right\} \left. \begin{array}{l} \eta_2 = z_0 - h \\ \eta_1 = z_0 + h \end{array} \right\}; \\ \left\{ F_{12}(k, \varphi, \eta) \right\}_{\substack{\eta_2 = z_0 - h \\ \eta_1 = z_0 + h}} &= \left\{ \eta \cdot \arctg \frac{k \cdot \varphi - \eta^2}{\eta \cdot \sqrt{(k + \varphi)^2 + \varphi^2 + \eta^2}} - \right. \\ &\quad \left. - \varphi \cdot \operatorname{ar sh} \frac{k + \varphi}{\sqrt{\varphi^2 + \eta^2}} - \frac{k}{\sqrt{2}} \cdot \operatorname{ar sh} \frac{k + 2 \cdot \varphi}{\sqrt{k^2 + 2 \cdot \eta^2}} \right\} \left. \begin{array}{l} \eta_2 = z_0 - h \\ \eta_1 = z_0 + h \end{array} \right\}; \\ B_{\alpha \kappa 3} &= -\frac{i^*}{4 \cdot \pi} \cdot \left\{ \left[ f_3^0(k_1, \varphi, \eta) + f_3^0(k_4, \varphi, \eta) \right]_{\substack{\varphi_1 = y_0 - a \\ \varphi_2 = y_0 - a - d}} - \right. \\ &\quad \left[ f_3^0(k_2, \psi, \eta) + f_3^0(k_3, \psi, \eta) \right]_{\substack{\psi_1 = y_0 + a \\ \psi_2 = y_0 + a + d}} + \\ &\quad \left. + \left[ f_{31}(k_1', \varphi', \eta) + f_{31}(k_3', \varphi', \eta) \right]_{\substack{\varphi_1' = x_0 - l \\ \varphi_2' = x_0 - l - d}} - \right. \\ &\quad \left. - \left[ f_{31}(k_2', \psi', \eta) + f_{31}(k_4', \psi', \eta) \right]_{\substack{\psi_1' = x_0 + l \\ \psi_2' = x_0 + l + d}} \right\} \left. \begin{array}{l} \eta_2 = z_0 - h \\ \eta_1 = z_0 + h \end{array} \right\} \forall \kappa \in [\overline{1, n_p}]; \\ f_{31}(k, \varphi, \eta) &= -\eta \cdot \operatorname{ar sh} \frac{k + \varphi}{\sqrt{\varphi^2 + \eta^2}} + \varphi \cdot \operatorname{arctg} \frac{(k + \varphi) \cdot \eta}{\varphi \cdot \sqrt{(k + \varphi)^2 + \varphi^2 + \eta^2}}; \end{aligned}$$

$$f_{32}(k, \varphi, \eta) = \sqrt{2} \cdot \eta \cdot \operatorname{arsh} \frac{k + 2 \cdot \varphi}{\sqrt{k^2 + 2 \cdot \eta^2}} - k \cdot \operatorname{arctg} \frac{(k + 2 \cdot \varphi) \cdot \eta}{k \cdot \sqrt{(k + \varphi)^2 + \varphi^2 + \eta^2}};$$

$$f_3^0(k, \varphi, \eta) = f_{31}(k, \varphi, \eta) + f_{32}(k, \varphi, \eta);$$

$$k_1' = -k_1 = [(y_0 - a) - (x_0 - l)];$$

$$k_2' = -k_2 = [(y_0 + a) - (x_0 + l)];$$

$$k_3' = k_3 = -[(y_0 + a) + (x_0 - l)];$$

$$k_4' = k_4 = -[(y_0 - a) + (x_0 + l)], \quad (11)$$

где  $i^*$  – плотность тока на единицу площади сечения обмотки катушки;

$2 \cdot h, d$  – высота и толщина её обмотки;

$2 \cdot l, 2 \cdot a$  – размеры её же внутреннего пространства;

$x_0, y_0, z_0$  – координаты точки пространства, в которой описывается поле.

В выражениях (11), кроме того:

$$i^* = 0,5 \cdot i \cdot w \cdot (h \cdot d)^{(-1)}, \quad (12)$$

где  $w$  – число витков катушки.

Далее, в (12), вместо  $i$ , последовательно подставляются значения фазовых токов якоря  $i^\rho \forall \rho \in [A, B, C]$  и, согласно (11) и (10), находятся компоненты  $B_{\rho q} \forall \rho \in [A, B, C], q \in [\overline{1, 3}]$  индукции поля, создаваемого каждым из них.

Пространство системы  $O\Xi_\chi \forall \chi \in [\overline{1, 3}]$  – евклидово. Поэтому мгновенное значение модуля вектора полной индукции поля, создаваемого током  $\rho$ -ой фазы якоря, может быть определено выражением

$$B_\rho = \sqrt{B_{\rho q}^{(2)} \cdot e^q}; \quad e^q = 1 \forall \rho \in [A, B, C], q \in [\overline{1, 3}]. \quad (13)$$

Каждое из значений  $B_\alpha$  пропорционально порождающему его  $i^\alpha$ , изменяющемуся косинусоидально. Поэтому индукция полного поля якоря в целом изменяется [11] согласно закону

$$B_{res} = 1,5 \cdot B_{max} \cdot \exp(-j \cdot \omega \cdot t); \quad j^{(2)} = -1, \quad (14)$$

где  $B_{max}, \omega$  – амплитуда и частота изменения индукции поля одного из токов  $i^\rho \forall \rho \in [A, B, C]$ .

### **Результат исследования, верифицирующий его корректность**

На основании синтезированной ММ ТС ЛСД МЛП, была построена соответствующая компьютерная модель. В качестве примера результатов

функционирования последней, на рис. 1 приведена полученная осциллограмма силы тяги двигателя в режиме разгона МЛП. Анализ этого результата свидетельствует о работоспособности моделей, а поэтому – об их пригодности, после верификации и необходимой адаптации к нуждам конкретных практических задач, к использованию в процессе исследований динамики МЛП, оснащённых ЛСД.

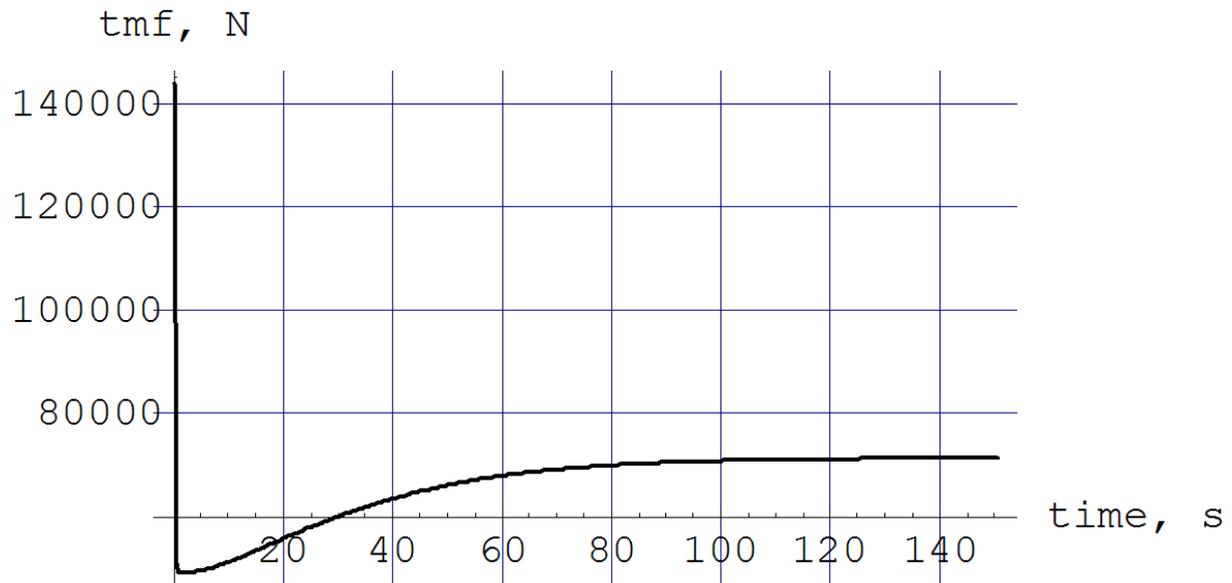


Рис. 1 Сила тяги ЛСД МЛП

### Научная новизна и практическая значимость исследования

Научная новизна исследования усматривается в приоритетности создания интегративной холистической парадигмы, ассимилирующей преимущества теорий электрических цепей и магнитного поля, а также соответствующей версии модели ТС двигателя.

Практическая значимость создания указанных парадигмы и модели состоит, очевидно, в возможности существенного повышения эффективности динамических исследований МЛП, на фоне неповышения их ресурсоёмкости, при использовании в их процессе созданных парадигмы и модели.

### Вывод

Создана версия ММ ТС ЛСД МЛП, ассимилирующая достоинства версий модели, созданных в рамках автономных парадигм теорий цепей и поля, но свободная от недостатков таких версий. Этим исчерпывающе решена задача настоящей части исследования.

## Библиографический список

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи – М.: Высш. шк., 1996. – 578 с.
2. Бирюков В. А. Магнитное поле прямоугольной катушки с током / В. А. Бирюков, В. И. Данилов // Журнал технической физики. – 1961. – Т. XXXI, № 4. – С. 428 – 435.
3. Дзензерский В. А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев, В. И. Матин, С. А. Сергеев// – К.: Наук. думка, 2001. – 479 с.
4. Вольдек А. И. Электрические машины – Л.: Энергия, 1984 – 832 с.
5. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
6. Крон Г. Применение тензорного анализа в электротехнике. – М., Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 275 с.
7. Львович А. Ю. Электромеханические системы – Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. – 296 с.
8. Поляков В. А. Динамика тяговой подсистемы магнитолевитирующего поезда (полевая парадигма исследования) / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Наук. вісн. Херсонс. морської академії – 2013. – № 1 (8). С. 258 – 266.
9. Поляков В. А. Динамика тяговой электромагнитной подсистемы магнитолевитирующего поезда / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Вісн. Харківс. нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. Серія: «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління» – 2012. – № 1015. Вип. 19. – С. 268-273.
10. Рашевский П. К. Риманова геометрия и тензорный анализ. – М.: Наука, 1967. – 644 с.
11. Сипайлов Г. А. Электрические машины (специальный курс) / Г. А. Сипайлов, Е. В. Кононенко, К. А. Хорьков – М.: Высш. шк., 1987. – 287 с.
12. Azukizava T. Optimum linear synchronous motor design for high speed ground transportation // IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems – 1983. – Vol. Pas-102, № 10. – P. 3306–3314.
13. Chong Y. Maglev train's development prospects in China / Y. Chong, W. Kane // Maglev Train in China Journal – 2016, № 2. – P. 75 – 90.
14. Fujiwara S. Superconducting maglev and its electromagnetic characteristics // SAE Technical Paper Series – 1995. – SAE 95-1922 – P. 1–6.
15. Lakhavani S. T. Study of a liner synchronous motor for high speed transport applications / S. T. Lakhavani, G. E. Davson // 34<sup>th</sup> Vehicular Technol. Conf., vol. 34, Pittsburg, Pennsylvania, U.S.A., May 21–23, 1984. P. 220–225.
16. Lee K. B. Study on Energy Efficiency Analysis by Maglev Trains / K. B. Lee, J. C. A. Kim // Electrical and Electronic Engineering. Advanced Science and Technology Letters/ – 2015. – Vol. 118 – pp. 48–53.

17. Matsuoka K. Multi-phase current-fed inverter-driven linear motor and its application to the guided ground transportation system // The Proc. IPEC – 1990. – Vol. 1. – pp. 604–611.

18. Russell J. List of maglev train / J. Russell, R. Cohn – Johannesburg: Book on demand, 2015. – 135 p.

19. Wang X. Wang Three Dimensional Electromagnetic Field Equations and General Problems with Definitive Solution in Linear Motor Anisotropic Media / X. Wang, S. Yuan, Z. Wang // Transact. of China Electrotechn. Soc., 2006. – Vol. 21, № 6, – pp. 59–64.

20. Zhigang L. Maglev Trains / L. Zhigang, L. Zhiqiang, L. Xiaolong – Berlin: Springer, 2015. – 215 p.

## References

1. Bessonov L. A. Teoreticheskie osnovy jelectrotehniki: Jelectricheskie cepi [Theoretical Foundations of Electrical Engineering: Electrical Circuits]. Moscow, 1996. 578 p.

2. Birjukov V. A. & Danilov V. Y. *Zhurnal tehniczeskoj fiziki – Technical Physics*, 1961, vol. XXXI, no. 4, pp. 428–435.

3. Dzenzerskij V. A., Omel'janenko V. I., Vasil'ev S. V., Matin V. I. & Sergeev S. A. Vysokoskorostnoj magnitnyj transport s jelectrodinamicheskoj levitaciej [High-speed Magnetic Levitation Transport with Electrodynamic Levitation]. Kiev, 2001. 479 p.

4. Vol'dek A. I. Jelectricheskie mashiny [Electric Machines]. Leningrad, 1984. 832 p.

5. Kopylov I. P. Matematicheskoe modelirovanie jelectricheskih mashin [Mathematical Modeling of Electrical Machines]. Moscow, 2001. 327 p.

6. Kron G. Primenenie tenzornogo analiza v jelectrotehnicke [The Use of Tensor Analysis in Electrical Engineering]. Moscow, Leningrad, 1955. 275 p.

7. L'vovich A. Ju. Jelectromehanicheskie sistemy [Electromechanical Systems]. Leningrad, 1989. 296 p.

8. Polyakov V. A. & Hachapuridze N. M. *Zhurnal Har'kovskogo universiteta. Seriya "Matematicheskoe modelirovanie. Informacionnye tekhnologii. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya" – Journal of University of Kharkiv. The series "Mathematical Modeling. Information Technology. Automated control Systems"*, 2012, vol. 19, no. 1015, pp. 268–273.

9. Polyakov V. A. & Hachapuridze N. M. Naukovyj visnyk Khersons'koj mors'koj akademiji – Scientific Bulletin of Kherson Maritime Academy, 2013, no. 1 (8), pp. 258–266.

10. Rashevskij P. K. Rimanova geometrija i tenzornyj analiz [Riemann Geometry and Tensor Analysis]. Moscow, 1967. 644 p.

11. Sipajlov G. A., Kononenko E. V. & Hor'kov K. A. Jelectricheskie mashiny (special'nyj kurs) [Electric Machines (Special Course)]. Moscow, 1987. 287 p.

12. Azukizava T. *IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems*, 1983, vol. 102, no. 10, pp. 3306–3314.
13. Chong Y. & Kane W. *Maglev Train in China Journal*, 2016, no. 2, pp. 75–90.
14. Fujiwara S. *SAE Technical Paper Series*, 1995, SAE 95-1922, pp. 1–6.
15. Lakhavani S. T. & Davson G. E. Study of a Liner Synchronous Motor for High Speed Transport Applications (34<sup>th</sup> Vehicular Technol. Conf.). Pittsburg, 1984, pp. 220–225.
16. Lee K. B. & Kim J. C. A. *Electrical and Electronic Engineering. Advanced Science and Technology Letters*, 2015, vol. 118, pp. 48–53.
17. Matsuoka K. *The Proc. IPEC*, 1990, vol. 1, pp. 604–611.
18. Russell J. & Cohn R. List of Maglev Train. Johannesburg, 2015. 135 p.
19. Wang X., Yuan S. & Wang Z. *Transacti. of China Electrotechn. Soc.*, 2006, vol 21, no.6, pp. 59–64.
20. Zhigang L., Zhiqiang L. & Xiaolong L. *Maglev Trains*. Berlin, 2015. 215 p.

**Сведения об авторах:**

ПОЛЯКОВ Владислав Александрович: кандидат технических наук; старший научный сотрудник; старший научный сотрудник; Институт транспортных систем и технологий Национальной академии наук Украины

E-mail: p\_v\_a\_725@mail.ru

ХАЧАПУРИДЗЕ Николай Михайлович: кандидат технических наук; старший научный сотрудник; заместитель директора по научной работе; Институт транспортных систем и технологий Национальной академии наук Украины

E-mail: itst@westa-inter.com

**Information about the authors:**

Vladislav A. POLYAKOV: Ph. D. of Engineering Sciences; Senior Research Officer; Senior Research Officer; Institute of Transport Systems and Technologies of Ukraine's National Academy of Sciences

E-mail: p\_v\_a\_725@mail.ru

Nicholas M. HACHAPURIDZE: Ph. D. of Engineering Sciences; Senior Research Officer; Deputy Director for Science; Institute of Transport Systems and Technologies of Ukraine's National Academy of Sciences

E-mail: itst@westa-inter.com

УДК 621.3:331.45+629.439.027.34

**С. М. Аполлонский**

## **ОСОБЕННОСТИ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕХНОСФЕРУ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ВОЛНОВОЙ ПРИРОДЫ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Дата поступления: 23.12.2016

Решение о публикации: 27.03.2017

Дата публикации: 30.04.2017

***Аннотация.*** В среде обитания техносфера подвергается, как правило, одновременному воздействию большего числа физических факторов волновой природы, переменных по частоте и амплитуде. К наиболее уязвимым элементам техносферы необходимо отнести высокочувствительные системы управления и человека. Следует особо отметить, что человек в течение жизни подвергается сочетанному воздействию ряда волновых факторов окружающей среды, как в быту, так и на производстве. Такие воздействия многократно увеличиваются в производственных условиях, связанных с большими энергетическими мощностями, которые изменяются как во времени, так и в пространстве.

В докладе рассмотрены особенности воздействия физических факторов волновой природы на электрифицированном железнодорожном транспорте.

***Ключевые слова:*** физические факторы волновой природы, ионизирующие и неионизирующие излучения, виброакустические колебания, фоновые физические факторы волновой природы, техногенные физические факторы волновой природы, электромагнитная безопасность на электрифицированном железнодорожном транспорте.

**S. M. Apollonskiy**

## **FEATURES OF COMBINED EFFECTS OF PHYSICAL FACTORS OF WAVE NATURE ON ELECTRIFIED RAILWAY TRANSPORT ON TECHNOSPHERE**

***Abstract:*** As a rule, the habitat technosphere is affected by simultaneous actions of numerous wave nature physical factors with variable frequency and amplitude. The most vulnerable elements of technosphere include the highly sensitive control systems and human population. It should be underlined that during a lifetime any person is exposed to the combined effects of environmental wave factors, both at home and at work. These effects increase significantly in industrial areas associated with large energy capacity that is time- and space-varying.

The report describes wave nature physical factors impact caused by electrified railways.

**Key words:** wave nature physical factors, ionizing and non-ionizing radiation, vibrations, vibroacoustics, background wave nature physical factors, man-made wave nature physical factors, electromagnetic safety on electrified railways.

## 1. Введение

В среде обитания техносфера подвергается, как правило, одновременному воздействию большего числа физических факторов волновой природы. К ним относятся электромагнитные поля (ЭМП) широкого частотного спектра; неионизирующие электромагнитные излучения (видимое излучение, инфракрасное излучение, ультрафиолетовое и лазерное излучения); ионизирующие излучения; виброакустические воздействия (шум, инфразвук, ультразвук, вибрации) и др. Эффект от одновременного воздействия таких факторов может оказаться более значительным, чем при изолированном воздействии того или иного фактора.

Рассматривая сочетанное действие неблагоприятных физических полей и других факторов, следует отметить, что на высоких уровнях воздействия наблюдается потенцирование, антагонизм и независимый эффект. На низких уровнях, как правило, наблюдаются аддитивные зависимости.

Человек, будучи элементом техносферы, в течение всей своей жизни подвергается воздействию комплекса факторов как на производстве, так и в быту, среди которых одно из ведущих мест занимают физические поля и излучения. При определенных условиях каждый из них, а также их разнообразные комбинации могут приводить к существенному напряжению адаптационных возможностей организма человека, а в дальнейшем и к срыву адаптации. Стрессовое воздействие данных факторов определяется как их физическими характеристиками (дозовая нагрузка), так и функциональным состоянием ведущих систем организма, его индивидуальной чувствительностью к раздражителю.

В качестве примера комплексного подхода можно привести результаты исследований условий труда и состояния здоровья специалистов, осуществляющих эксплуатацию средств радиолокации, радионавигации и связи. В процессе осуществления своей трудовой деятельности эти лица подвергаются воздействию целого комплекса факторов производственной среды и трудового процесса. Ведущими среди физических факторов являются ЭМП широкого диапазона частот, а также шум и вибрация. Кроме того, для персонала, обслуживающего системы локации, навигации и связи, важную роль играют микроклиматические параметры, так как часть работ производится не в помещении, а на открытых территориях. Высокая личная ответственность за обеспечение безопасности движения транспорта является дополнительным стрессовым фактором.

Другим примером сочетанного действия вредных факторов на человека может служить работа с компьютером. Сегодня число пользователей компьютерами составляет в России свыше 60 млн. человек. Не следует забывать, что далеко не все компьютеры отвечают санитарно-гигиеническим требованиям. Пользователи в процессе работы в этих случаях подвергаются комплексному воздействию вредных факторов.

Исследования показали, что неблагоприятные изменения функционального состояния пользователей персональных компьютеров определяются сочетанием рядом факторов: уровнями генерируемых ЭМП, параметрами освещенности, микроклиматом в помещении, состоянием здоровья, возрастом, интенсивностью и длительностью работы с компьютером.

В отечественной и зарубежной литературе имеются довольно многочисленные сведения, в той или иной мере отражающие попытку интегрально оценить этот комплекс воздействующих на организм человека факторов и определить значимость каждого из них в их взаимосвязи.

Имеются предложения об изменении гигиенических требований к одному из факторов, действующих в комплексе с другими.

Современные математические методы позволяют подойти к решению этой гигиенической проблемы с позиций комплексного нормирования факторов на основе построения модели, отражающей взаимосвязь совокупности показателей функционального состояния человека со всей совокупностью факторов среды.

При анализе многофакторных исследований важным является выбор адекватного статистического метода анализа и обобщения экспериментальных данных. Однако традиционный подход с использованием многофакторного дисперсионного анализа и  $F$ -критерия Фишера для оценки значимости, как отдельного фактора, так и их сочетаний не позволяет решить задачу прогнозирования функционального состояния человека (ФСЧ) по значениям параметров внешней среды. В этом случае исследователь сталкивается с необходимостью использования ряда регрессионных моделей, описывающих взаимосвязь отдельного показателя функционального состояния человека с линейной или нелинейной комбинацией факторов внешней среды (ФВС):

$$Y_i = F(X_{i1}, X_2, \dots, X_{ij}), \quad (1)$$

где  $Y_i$  -  $i$ -й из  $m$  показателей оценки ФСЧ, а  $X_{i1}, X_2, \dots, X_{ij}$  - ФВС.

Число таких уравнений (в зависимости от количества используемых показателей ФСЧ) может быть весьма велико, что затрудняет их практическое использование. Кроме того, в этом случае по существу имеет место сведение многомерной (по совокупности параметров ФСЧ) задачи количественной оценки системного ответа организма человека, находящегося в неблагоприятных условиях, к  $m$  одномерным задачам.

Такой подход не является в полной мере адекватным. Наиболее логичным является изучение многомерной системы многомерными математическими методами.

Известен способ гигиенической оценки влияния содержащихся в воздухе физических факторов волновой природы на организм человека по кратности превышения предельно допустимых уровней содержащихся в воздушной среде физических факторов. Например, в отношении одного содержащегося в воздухе физического фактора или группы факторов, обладающих между собой аддитивным действием на организм человека, гигиеническая оценка влияния факторов определяется по формуле [15]:

$$\frac{TU_1}{ПДУ_1} + \frac{TU_2}{ПДУ_2} + \dots + \frac{TU_n}{ПДУ_n} \leq 1, \quad (2)$$

где  $TU_1, TU_2, \dots, TU_n$  - текущие уровни содержащихся в воздухе физических факторов ( $H$  – А/м,  $E$  – В/м,  $p$  – Па ( $H/m^2$ ) и др.);  $ПДУ_1, ПДУ_2, \dots, ПДУ_n$  - нормируемые предельно допустимые уровни содержащихся в воздухе физических факторов (тех же размерностей, что и  $TU_i$ ).

Для физических факторов, обладающих между собой независимым действием на организм, гигиеническая оценка влияния содержащихся в воздухе факторов на организм человека производится на основе определения кратности превышения их предельно допустимых уровней, но по наиболее опасному фактору.

Таким образом, в имеющемся способе гигиенической оценки влияния содержащихся в воздухе физических факторов на организм человека и действующих нормативах содержания физических факторов в атмосферном воздухе населенных мест и в воздухе рабочей зоны производственных помещений, категория предельно допустимого уровня (ПДУ) физического фактора представлена в качестве критерия санитарного благополучия воздушной среды, но в формах, не имеющих отношения, например, к факторам трудового процесса, хотя ПДУ физического фактора веществ создается для человека, который является субъектом трудового процесса и, следовательно, имеет к факторам трудового процесса непосредственное отношение. Вывод о необходимости учета взаимосвязи между факторами среды и трудового процесса при гигиенической оценке влияния содержащихся в воздухе физических факторов волновой природы на организм человека вытекает также из определения понятия ПДУ. Предельно допустимый уровень воздействия физического фактора - это такой его уровень, воздействие которого, независимо от наличия других факторов, не превышающих нормативов, при работе установленной продолжительности в течение всего трудового стажа не вызывает заболевания или другого отклонения в состоянии здоровья как самого работающего, так и его потомства.

Описанный способ гигиенической оценки влияния содержащихся в воздухе физических факторов на практике часто приводит к противоречивым ситуациям, когда при различных мышечных нагрузках, категориях тяжести труда и обусловленных ими функциональных состояниях организма (в том числе и превышающих предельно допустимые), гигиеническая характеристика, например, производственной среды по критерию кратности превышения ПДУ физических факторов в воздухе рабочей зоны, получает одну и ту же оценку. Между тем известно, что физическая мышечная нагрузка оказывает мощное и разностороннее влияние на все органы и системы организма, изменяет условия резорбции, распределения, превращения и течение интоксикации в целом. Динамические физические нагрузки активизируют основные вегетативные системы жизнеобеспечения - дыхание и кровообращение, усиливают активность нервно-эндокринной системы, а также многие ферментативные процессы. В связи с этим при наличии сопутствующих воздействию содержащихся в воздухе других физических факторов, превышающих нормативные значения, в данных условиях критерий ПДУ, согласно определению этого понятия, не может являться гарантом безопасного уровня.

Таким образом, описанный способ гигиенической оценки влияния содержащихся в воздухе физических факторов волновой природы на организм человека недостаточно точно характеризует степень этого влияния при наличии сочетанного воздействия на человека других факторов, превышающих нормативы.

В целях обеспечения преемственности по отношению к традиционным принципам гигиенической оценки загрязнения воздушной среды физическими факторами волновой природы и удобства применения получаемых данных в различного рода исследованиях условий труда человека в [15] предложена другая формула, однако нет экспериментальных подтверждений её справедливости.

Ниже рассмотрены некоторые подходы к оценке влияния физических факторов волновой природы в техносфере на функциональное состояние человека на основе полученных интегральных показателей ФСЧ и ФФС и установления взаимосвязи между ними.

## **2. Особенности сочетанного воздействия электромагнитных полей широкого спектра частот**

Сочетанное воздействие ЭМП с различными длинами волн, частотами и интенсивностями сказывается на работе жизненно важных систем организма, прежде всего нервной, иммунной, эндокринной и репродуктивной систем. Сочетанное воздействие ЭМП на нервную систему приводит к изменениям высшей нервной деятельности человека.

Имеющиеся результаты свидетельствуют о возможной модификации биоэффектов ЭМП как тепловой, так и нетепловой интенсивности под влиянием ряда факторов как физической, так и химической природы. Условия комбинированного действия ЭМП и других факторов позволили выявить значительное влияние ЭМП сверхмалых интенсивностей на реакцию организма, а при некоторых сочетаниях может развиваться ярко выраженная патологическая реакция.

В последние годы появились публикации, в которых имеются весьма важные указания о наличии так называемых резонансных эффектов при воздействии на биобъекты ЭМП, о роли в биоэффектах некоторых форм модуляции; показано наличие частотных и амплитудных окон, обладающих высокой биологической активностью на клеточном уровне, а также при воздействии ЭМП на центральную нервную и иммунную системы. Во многих работах указываются на "информационный" механизм биологического действия ЭМП. Опубликованы данные о неадекватных патологических реакциях людей на модулированные электромагнитные поля.

Однако, действующие гигиенические нормативы, основанные лишь на регламентации энергетической нагрузки, слагаемой из интенсивности и времени контакта с ЭМП, не позволяют распространить ПДУ на условия воздействия ЭМП со сложными физическими характеристиками, в частности применительно к конкретным режимам модуляции.

При проведении электромагнитного мониторинга не следует забывать о структуре поля, которая в общем случае может быть весьма сложной и представлять собой до шести компонент напряженности ЭП и МП. В отечественной и зарубежной санитарно-гигиенической практике принята энергетическая концепция учета отдельных составляющих поля. Если в данной точке пространства создается ЭМП, описываемое несколькими несинфазными пространственными компонентами в декартовой  $E_x, E_y, E_z$  (или  $H_x, H_y, H_z$ ) или круговой цилиндрической  $E_r$  и  $E_z$  (или  $H_\phi$ ) системах координат (это характерно для линий электропередачи), то напряженность поля от  $i$ -го источника ( $i \in [1, n]$ ) -  $E_{\Sigma_i}$  (или  $H_{\Sigma_i}$ ) от каждого такого технического средства определяется следующим образом:

$$E_{\Sigma_i} = \sqrt{E_{x_i}^2 + E_{y_i}^2 + E_{z_i}^2}; \quad E_{\Sigma_i} = \sqrt{E_{r_i}^2 + E_{\phi_i}^2 + E_{z_i}^2}; \quad (3)$$

$$H_i = \sqrt{H_{x_i}^2 + H_{y_i}^2 + H_{z_i}^2}; \quad H_{\Sigma_i} = \sqrt{H_{r_i}^2 + H_{\phi_i}^2 + H_{z_i}^2}. \quad (4)$$

С критериями оценки опасности ЭМП тесно связан характер воздействия, под которым понимают совокупное загрязнение окружающей среды ЭМП и другими факторами. Характер воздействия ЭМП может быть:

1. Изолированным - от одного источника ЭМП. В этом случае оценка опасности электромагнитной обстановки производится непосредственно по

предельно допустимому уровню ЭМП, определяемому по виду и рабочей частоте технических средств.

2. Сочетанным - от двух и более источников ЭМП, имеющих одинаковую величину предельно допустимого уровня одного и того же нормируемого параметра.

3. Смешанным - от двух и более источников ЭМП, имеющих различные величины предельно допустимых уровней одного или различных нормируемых параметров.

4. Комбинированным - в случае воздействия ЭМП и какого-либо другого неблагоприятного загрязняющего фактора (материального или энергетического).

Сочетанное, смешанное и комбинированное воздействие ЭМП предполагает введение критериев и алгоритмов, по которым производится оценка состояния окружающей среды.

Воздействие может быть постоянным и прерывистым. Типичным случаем прерывистого воздействия является облучение от сканирующих антенн радиолокационных станций.

При воздействии на окружающее пространство  $i$  источников ЭМП широкого частотного спектра суммарные напряженности ЭМП могут быть рассчитаны в виде:

$$E_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n E_{\Sigma_i}^2}, \quad H_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n H_{\Sigma_i}^2}. \quad (5)$$

Подводя итог, отметим, что нормирование ЭМП осуществляется в зависимости от частоты ЭМП (с увеличением частоты имеется четкая тенденция уменьшения предельно допустимого уровня, т. е. нормы становятся строже), от категории облучаемых людей (население, производственный персонал, пользователи), от вида технических средств (телевидение, сотовая связь, радиолокаторы, ЛЭП, печи СВЧ, видео-дисплейные терминалы и т. д.).

### **3. Особенности сочетанного воздействия шума и других физических факторов на человека**

В процессе жизнедеятельности человек, как правило, подвергается одновременному воздействию не только шума, но и других факторов, что обуславливает необходимость проведения различного вида исследований по оценке их комбинированного влияния на организм.

Результаты исследования механизмов одновременного действия шума и других физических факторов на организм и методические подходы к их сочетанной оценке представлены в ряде работ отечественных и зарубежных авторов. Некоторые из них посвящены оценке функционального состояния человека во взаимосвязи с воздействующими

факторами, в отдельных работах сделана попытка представить в качестве критерия комплексной оценки показатели здоровья и риска его нарушения; в некоторых - отражена методология комплексной оценки функционального состояния организма.

В работе [6] проанализированы воздействия шума и различных физических факторов волновой природы на биосферу и человека. Используются материалы многочисленных работ отечественных и зарубежных специалистов. Основные результаты исследований можно суммировать следующим образом:

1. Совместное действие шума и нагревающего микроклимата приводит к более значительным изменениям функционального состояния человека и снижению его работоспособности, чем воздействие каждого из них. Одновременное действие нагревающего микроклимата и шума на уровне выше ПДУ сопровождается большим увеличением заболеваемости с временной утратой трудоспособности по классу болезней органов кровообращения (гипертоническая болезнь) [3]. Тепловое воздействие на работников операторского труда, сочетающееся с действием других производственных факторов, проявляется также и в большем снижении внимания при решении поставленных задач, а также изменении чувствительности слухового анализатора.

2. В статье [5] делается попытка подойти к комплексной оценке условий труда, исходя из суммы баллов соответствующих степеней вредности каждого фактора: вибрация, шум, пыль, температура воздуха, скорость движения воздуха, загрязненность воздушной среды (СО акромин, СО керосин). Определялся интегральный показатель факторов среды. Установлена его тесная корреляционная взаимосвязь с показателями заболеваемости с временной утратой трудоспособности. Степень вредности факторов определяли двумя способами: по наиболее жесткой оценке всех рабочих мест ( $B_{\max}$ ), а также по среднеарифметическому значению показателей и среднеквадратическому отклонению. При этом учитывали статистическое распределение степеней по всем трём классам, а класс ниже нормы считали нулевым. Для расчета среднего значения индекса умножали долю (относительно 1) рабочих мест с превышением ПДК и ПДУ в пределах данного класса на его индекс, принимая для случая ниже нормы 1, 2, 3 степеней вредности, значения индексов 0, 1, 2, 3 соответственно. Сложение 4-х компонентов составляющих давало среднее значение степени.

3. Такие факторы физической природы, как шум и электромагнитные излучения, играют значительную роль в формировании антропогенной нагрузки в техносфере: имеется прямая зависимость между их уровнями и распространённостью заболеваний (нервно-психическая сфера, заболевания системы кровообращения, органов зрения и др.) [9].

4. Физические факторы среды (шум и электромагнитные поля промышленной частоты (ЭМП ПЧ)) при совместном воздействии могут

вызывать разнонаправленные изменения в различных органах и системах у био-организмов, которые, которые в зависимости от уровня и продолжительности действия каждого фактора, могут ослаблять или усиливать системный ответ. Комплексное воздействие ЭМП ПЧ с высоким уровнем магнитной индукции и шума средних уровней угнетает активность ферментов ЦТК в митохондриях головного мозга и печени. Действие ЭМП ПЧ с низким уровнем магнитной индукции и высокими уровнями шума приводит к увеличению скорости процессов дегидрирования в ЦТК митохондрий головного мозга и печени.

5. Для изучения эффектов сочетанного действия вибрации и шума на организм проведен [1] двухфакторный (вибрация 121 и 127 дБ, шум 80 и 100 дБ) эксперимент. Математическая обработка полученных результатов позволила установить вклад уровня шума в изменение порогов слуховой и вибрационной чувствительности, а также влияние уровней вибрации и шума на процесс восстановления этих показателей. Полученные данные указывают на существенную роль фактора шума в развитии изменений не только слуховой, но и вибрационной чувствительности при сочетанном действии двух факторов, вклад которого в величину смещения порогов вибрационной чувствительности на величину ВСП составил 23,5 %. Влияние уровня вибрации на величину ВСП слуха было статистически малозначимым, однако, оно сказывалось в замедлении процесса восстановления порогов слуха.

Вибрация значительно (в среднем в 1,5-2,0 раза) усиливает неблагоприятное влияние транспортного шума на физиологические показатели (в частности, КЧСМ) населения. Отмечено, более выраженное напряжение адаптационных реакций организма. Наибольшее количество жалоб на совместное действие шума и вибрации зарегистрировано среди лиц, страдающих заболеваниями нервной и сердечно-сосудистой системы. На основании исследования выявляемости кардио- и цереброваскулярной патологии лиц, подвергающихся воздействию шума и вибрации, обнаружено, что она в два раза выше, чем в популяции.

Комбинированное воздействие шума и вибрации вызывает большее увеличение потоотделения с ладони, чем каждый из этих факторов. В наибольшей степени эффект выражен у лиц, имеющих большую чувствительность к вибрации или шуму. Одновременное воздействие вызывает более выраженную вазоконстрикцию в сосудах пальцев. Известно, что ладонное потоотделение контролируется симпатическими холинэргическими волокнами и может считаться как индекс симпатических реакций. 70% пациентов с вибрационным синдромом страдает ладонным гипергидрозом, и их симпатическая система может находиться в стадии возбуждения. Операторы ручных инструментов подвергаются воздействию как вибрации, так и шума. При этом реакции на вибрацию и шум, действующие совместно, более выражены, чем при действии одной лишь

вибрации. Лица, которые более значительно реагировали на шум, также выражено реагировали и на вибрацию, и еще более интенсивно на их одновременное воздействие. Следует отметить, что по данным ряда авторов эффект на комбинированное воздействие проявляется и в случае, когда реакции на раздельное действие шума и вибрации незначительны.

6. При исследовании [12] биологического эффекта воздействия трех физических факторов: шум, вибрация, нагревающий микроклимат, установлен синергизм в реакциях организма на шум и тепло и антагонизм в действии вибрационного и теплового факторов. Данные свидетельствуют о методической сложности оценки сочетанного воздействия факторов, поскольку биологический эффект не является алгебраической суммой независимых между собой воздействий. Автор ставит вопрос о возможности использования неспецифических реакций различных функциональных систем организма в качестве показателя чувствительности организма к комбинированному действию физических факторов производственной среды (шум, вибрация, нагревающий микроклимат). Делается вывод, что устойчивость организма к комбинированному действию указанных выше факторов как система является нелинейной, поскольку не подчиняется принципу суперпозиции, т.е. реакция системы не выражается в виде алгебраической суммы независимых между собой воздействий. Это означает, что без проведения факторного и кластерного анализа построение уравнений множественной регрессии представляется не вполне корректным, принимая во внимание также, что единицы измерения одних факторов (например, температура) – линейные, а других (шум, вибрация) – логарифмические. Использование адекватных математических методов позволяет выявить характер и направленность различных физиологических реакций при комбинированном воздействии на человека физических факторов, а также значимость адаптации к ним с позиций разработки дифференцированных норм.

#### **4. Нормирование сочетанного воздействия физических полей и других факторов на человека**

На основании общетеоретических положений отечественной медицины труда, международного опыта ВОЗ, МОТ, ИСО, МЭК по стандартизации, гармонизации нормативов и методов их контроля в настоящее время разработана новая методология нормативно-прогностической регламентации физических факторов производственной и окружающей среды. В ней успешно сочетаются традиционное гигиеническое нормирование с обоснованием предельно допустимых уровней физических факторов и концепция оценки риска для здоровья от их воздействия. основополагающими принципами новой системы

регламентации, на примере виброакустических факторов, являются следующие [14]:

1. Единое нормирование виброакустических факторов производственной среды и среды обитания для учета и оценки их суммарной нагрузки на работающее население.

2. Интегральная, одночисловая оценка виброакустических факторов, воздействующих на человека-оператора, по экспозиции, вместо традиционных частотно-амплитудных характеристик.

3. Дифференцированное нормирование виброакустических факторов с учетом тяжести и напряженности трудового процесса (а не по принципу технической достижимости или отраслевому принципу).

4. Оценка риска нарушения здоровья при воздействии виброакустических факторов с целью управления качеством среды (производственной, окружающей, обитания) и вероятностью развития профессиональных заболеваний.

5. Оценка и нормирование виброакустических колебаний в комплексе с другими физическими факторами и факторами иной природы, воздействующими на работающих в реальных производственных условиях. Отличительная особенность гигиенического нормирования виброакустических колебаний в том, что степень вредности или опасности воздействующих уровней факторов устанавливается исходя из результатов сопоставления временных смещений порогов восприятия адекватных анализаторных систем в динамике рабочего дня и постоянных необратимых изменений у рабочих. Кроме того, при гигиеническом нормировании шума, вибрации, инфразвука, ультразвука наметился переход от устоявшегося частотного принципа (то есть спектральных характеристик, имеющих важное значение, прежде всего для разработчиков инженерно-технических, архитектурно-планировочных и других мер по борьбе с виброакустическими колебаниями) к одночисловой интегральной оценке факторов по экспозиции. Новая система регламентации физических факторов хорошо адаптирована для решения задач социально-гигиенического мониторинга. Целенаправленный переход на новую систему регламентации физических факторов и внедрение на ее основе социально-гигиенического мониторинга переориентирует гигиеническую профилактику на оценку риска в целях управления качеством среды (окружающей, производственной, обитания) и здоровья работающего населения. В связи с этим несомненный интерес представляет система прогнозов вероятности развития профессиональной патологии от воздействия шума, вибрации, контактного ультразвука и других физических факторов. Вопросы прогнозирования риска вибрационных нарушений являются актуальными, поскольку затрагивают закономерности формирования патологии и непосредственно связаны с возможностью предотвращения развития заболевания. Существует несколько моделей

прогноза вероятности развития вибрационных нарушений у работающих с ручным вибро-инструментом. Первая модель прогностической оценки вероятности развития вибрационной болезни была представлена в приложении к стандарту ИСО 5349.2 (1986) в виде «Руководства по оценке воздействия вибрации, передающейся на руки человека». Эта модель дозо-эффективной зависимости вероятности вибрационной болезни положила начало разработке ряда отечественных моделей, основанных на реальной диагностике вибрационной болезни 1-й и 2-й степени в соответствии с «Классификацией вибрационной болезни от воздействия локальной вибрации», утвержденной Минздравом России № 10-11/143 от 9 декабря 1985 г., определяющих вероятность развития вибрационной болезни в зависимости от воздействующей экспозиции (дозы) вибрации и стажа работы в профессии. Сопоставление данных модели стандарта ИСО 5349.2 с данными отечественных моделей свидетельствует об их существенных различиях. Выявленное несовпадение результатов прогноза по модели стандарта ИСО и отечественным моделям обусловлено различием во взглядах отечественных и зарубежных ученых на патогенез вибрационной патологии, разными подходами к диагностике вибрационных нарушений и используемыми при этом критериями. Можно предположить, что при выявлении вибрационной патологии в нашей стране определенная часть заболеваний либо не диагностируется вообще, либо выявляется на стадии выраженных признаков'. В связи с этим при составлении прогноза по отечественным моделям рассчитанные показатели вероятности заболевания оказываются ниже реальных, которые, однако, не достигают величин, прогнозируемых по стандарту ИСО. Некоторые специалисты считают, что стандарт ИСО 5349.2 значительно переоценивает риск вибрационной болезни: в два-три раза по частоте случаев и до 10 раз по латентности развития. Среди отечественных моделей наиболее адекватной для оценки риска развития вибрационной болезни следует считать модель, разработанную в [14]. На основании анализа распределения частоты случаев вибрационной болезни 1-й степени среди работающих на виброопасных участках машиностроительных предприятий средней полосы России выведена математическая зависимость вероятности появления вибрационной патологии у работающих от уровня воздействующей вибрации и продолжительности контакта. В соответствии с установленной зависимостью воздействие вибрации с эквивалентным уровнем 112 дБ не приведет к развитию заболевания на протяжении 32 лет работы у 90% работающих, тогда как уровень 124 дБ будет безопасным для того же процента работающих лишь в течение четырех лет. На основании гигиенических, клинико-физиологических исследований выявлена дозоэффективная зависимость вероятности развития синдрома вегетативно-сенсорной полиневропатии вибрационной болезни от уровня общей вибрации и стажа работы. На протяжении последних лет большое внимание

уделяется изучению сравнительно новых техногенных факторов - инфразвука и контактного ультразвука. Проведены исследования по оценке степени вредности инфразвука и низкочастотных акустических колебаний, их совместного действия с другими факторами производственной среды, изучены механизмы влияния и биологического восприятия инфразвука. На основании литературных данных и собственных материалов об объективных и субъективных признаках инфразвукового воздействия разработана классификация зон риска для здоровья человека в зависимости от параметров инфразвука. Установлено, что кратковременное интенсивное воздействие инфразвука на человека обуславливает высокую степень вероятности развития тягостного состояния сенсорно-сомато-вегетативно-висцерального симптомокомплекса, что позволило впервые обосновать представление об инфразвуковом гипоталамическом синдроме (диэнцефальном кризе). Разработана концептуальная патогенетическая модель инфразвукового воздействия на человека, согласно которой особенностью повреждающего действия инфразвука является развитие сочетанных взаимосвязанных патологических процессов. Один из них обусловлен развитием общего адаптационного синдрома, другой - альтерацией нервных образований головного мозга, органов-мишеней эндокринной системы и внутренних органов. Основным патогенетическим звеном этого процесса является развитие тканевой гипоксии вследствие церебральной гипертензии из-за ликвор-гемодинамических и микроциркуляторных нарушений. Риск возникновения симптомокомплекса (синдрома) может быть рассчитан по определенной формуле. Полученные материалы использованы при обосновании гигиенических, клинко-физиологических, медико-биологических критериев нормирования инфразвука, учитывающих не только состояние статокинетической системы, но и в равной степени реакции целостного организма, что нашло отражение в новых санитарных нормах. Действующие санитарные правила СП 2.2.4/2.1.8.583-96 «Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки» разработаны с позиций дифференцирования предельно допустимых уровней фактора в зависимости от степени тяжести и напряженности трудового процесса (в производственных помещениях и на территории предприятий) и составляют 100 и 95 дБ Лин соответственно. Отечественным гигиенистам принадлежит приоритет в обосновании принципов, критериев и методов гигиенической оценки и нормирования ультразвука. Следует отметить, что в результате снижения на 15 - 25 дБ уровней воздушного ультразвука, генерируемого современным ультразвуковым оборудованием, по сравнению с уровнем оборудования предыдущего поколения проблема воздушного ультразвука отошла на второй план. Вместе с тем, использование ультразвукового оборудования и аппаратуры в промышленности, медицине сопровождается ростом численности работающих с источниками контактного ультразвука,

подвергающихся его неблагоприятному воздействию. В целях унификации критериев и методов оценки условий труда работающих с источниками ультразвуковых колебаний разработана «Гигиеническая классификация ультразвука, воздействующего на человека-оператора», которая включена в действующие санитарные нормы. Развивающиеся под влиянием контактного ультразвука неблагоприятные эффекты, обладающие способностью к накоплению, проявляются обычно сильнее в зоне контакта - в пальцах, кистях рук. Клинико-физиологические исследования показали, что для ультразвукового воздействия характерны сенсорные, вегетативно-сосудистые нарушения и изменения опорно-двигательного аппарата рук в виде вегетативно-сенсорной (ангионевроз) полиневропатии рук, которая впервые включена в список профессиональных заболеваний в 1989 году. По результатам многолетних исследований разработана математическая модель прогноза вероятности развития профессиональной патологии у работающих с источниками контактного ультразвука различной частоты в зависимости от интенсивности и длительности контакта. Модель позволяет определять безопасный стаж работы в профессии, что дает возможность управлять риском нарушения здоровья за счет «защиты временем». В действующих санитарных нормах реализована концепция совместного действия воздушного и контактного ультразвука путем установления понижающей поправки, равной 5 дБ, к нормативному уровню контактного ультразвука. В условиях современного производства на фоне происходящей интеллектуализации труда, роста удельного веса операторских профессий повышается значение шумов средних уровней (ниже 80 дБА), не вызывающих потерь слуха, но оказывающих мешающее, раздражающее, утомляющее действие. Оно суммируется с действием напряженного труда и при возрастании стажа может привести к общесоматическим нарушениям и заболеваниям. В связи с этим был обоснован биологический эквивалент действия на организм шума и нервно-напряженного труда, равный 10 дБА шума на одну категорию напряженности трудового процесса. Этот принцип положен в основу действующих санитарных норм по шуму. Оценка и прогнозирование риска нарушений от действия шума предполагают количественную оценку как специфических, так и неспецифических, экстраауральных эффектов. В соответствии с рекомендациями стандарта ИСО 1999 (1990) «Акустика. Определение профессиональной экспозиции шума и оценка нарушений слуха, вызванных шумом» и на основе отечественных критериев оценки потерь слуха разработан прогноз развития тугоухости. В России степень профессиональной тугоухости оценивается по средней величине потерь слуха на трех речевых частотах (0,5-1-2 Гц). Величины более 10, 20, 30 дБ соответствуют I, II, III степени снижения слуха. Причем у женщин из-за более медленного, чем у мужчин, нарастания возрастных изменений слуха данные слегка отличаются: для стажа более 20 лет у женщин безопасный стаж на один год больше, чем у мужчин, а для

стажа более 40 лет - на два года. Правда, стандарт не учитывает характер трудовой деятельности, как это предусмотрено в санитарных нормах, дифференцированных по тяжести и напряженности трудового процесса и тем самым охватывающих неспецифическое действие шума, что важно для сохранения здоровья и работоспособности лиц операторских профессий. В настоящее время подготовлено информационное письмо «Прогнозирование потерь слуха от действия производственного шума по стандарту ИСО 1999 (1990)», в котором изложены принципиальные положения этого стандарта и даны рекомендации по его применению. Проблема гигиенической оценки импульсных шумов актуальна как в нашей стране, так и за рубежом. Действующие санитарные нормы по шуму устанавливают предельно допустимые уровни (далее ПДУ) для импульсного шума на 5 дБ ниже, чем для постоянных шумов, и дополнительно ограничивают максимальный уровень звука (125 дБА), но не регламентируют пиковые значения. Тем самым нормы ориентированы на громкость шума, а не на травматическое действие его пиков, являющееся общепризнанным. В последние десятилетия проведены исследования, позволившие уточнить ПДУ электромагнитных полей (далее ЭМП) в ряде частотных диапазонов с учетом режимов облучения и ввести дозовый (энергетический) подход, обосновывающий более адекватную оценку облучаемости персонала. Основным нормативным документом, регламентирующим допустимые уровни воздействия ЭМП, является СанПиН 2.2.4/ 2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона». В ПДУ наряду с интенсивностными параметрами (Е, Н, ППЭ) нормируется энергетическая экспозиция за рабочий день, выражающаяся произведением Е2, Н2 или ППЭ за время воздействия Т. Такой подход позволяет определять допустимые уровни ЭМП с учетом времени воздействия исходя из предельно допустимой энергетической экспозиции. В последнее время широкое распространение получили такие источники ЭМП, как видео-дисплейные терминалы (далее ВДТ) и радиотелефоны. Достаточно широкий спектр частот, излучаемых ВДТ, и особенности пользования радиотелефонами с максимальным приближением к голове пользователя потребовали разработки отдельных гигиенических регламентов. Были разработаны «Временные допустимые уровни электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи» (ГН 2.1.8/2.2.4.019-94) и СанПиН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видео-дисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ». Однако расширение частотного диапазона систем сотовой связи, увеличение числа пользователей радиотелефонами и ВДТ обуславливают необходимость проведения фундаментальных исследований влияния создаваемых ими ЭМП на организм человека с целью разработки научно обоснованных регламентов, уточнения методов измерения и гигиенической оценки. В связи с проведением социально-

гигиенического мониторинга предполагается разработка методов оценки влияния ЭМИ на показатели здоровья населения, проживающего в районах с неблагоприятной электромагнитной обстановкой. Поэтому необходима организация эпидемиологических исследований различных контингентов населения для апробации действующих ПДУ, изучения отдаленных последствий длительного воздействия ЭМП малой интенсивности. Нормирование микроклимата на рабочих местах и разработка мер защиты от перегревания и охлаждения базируются на результатах теоретических, экспериментальных и производственных исследований теплообмена человека с окружающей средой, порогов температурной чувствительности организма, состояния функциональных систем, обеспечивающих температурный гомеостаз, а также на изучении показателей здоровья работающих, имеющих как научное, так и практическое значение. Для разработки нормативных требований к параметрам микроклимата производственных помещений использованы показатели критериев, характеризующие тепловое состояние работающего за рабочую смену либо как оптимальное, либо как допустимое. При этом если в отношении оптимального теплового состояния человека за рабочую смену существует вполне определенная позиция отечественных и зарубежных исследователей, и их мнения практически не расходятся, то в отношении оценки допустимого охлаждения и перегревания организма это мнение неоднозначно. Это определяет различные требования к уровню термического стресса. К допустимым в период рабочей смены отнесены такие величины показателей теплового состояния человека, которые не вызывают неприятных тепло-ощущений, обуславливающих желание покинуть рабочее место для нормализации теплового состояния, увеличить или уменьшить теплоизоляцию одежды; не изменяют существенно работоспособность человека, но, при этом не исключено ее снижение у 20% индивидуумов на 10%. Пребывание в нагревающей или охлаждающей среде не является риском нарушения состояния здоровья. Показано, что кратковременное пребывание в охлаждающей или нагревающей среде может сопровождаться большим охлаждением или перегревом организма (предельно допустимым), но при условии, что в остальные периоды рабочей смены трудовая деятельность человека осуществляется в микроклиматических условиях, способствующих нормализации теплового состояния организма, то есть должно быть выдержано условие сохранения среднесменных величин показателей теплового состояния на допустимом уровне. Нормативные требования к оптимальным и допустимым показателям микроклимата, а также показателям, характеризующим различные классы вредных и опасных условий труда, разработаны на основе их взаимосвязи с критериальными показателями теплового состояния человека и его здоровья. Для оценки нагревающего микроклимата представлены требования к величинам интегрального показателя

термической нагрузки среды (далее ТНС-индекс), отражающего степень влияния нагревающего микроклимата на тепловое состояние человека и его здоровье. Рассчитаны величины стандартизованного относительного риска смерти (далее СОР) от заболеваний сердечно-сосудистой системы у рабочих в нагревающей среде в зависимости от превышения на рабочих местах верхней границы допустимого уровня ТНС-индекса. Вопросы защиты от термического стресса применительно к конкретным условиям трудовой деятельности представлены в Методических рекомендациях. В условиях производственной деятельности человек, как правило, подвергается одновременному воздействию различных факторов внешней среды. В отечественной и зарубежной литературе имеются многочисленные сведения, в той или иной мере отражающие оценку их совместного действия. Однако применяемый в этих целях традиционный подход к интегральному изучению происходящих в организме изменений с использованием многофакторного дисперсионного анализа Р-критерия Фишера для оценки значимости факторов не позволяет решать задачу прогнозирования функционального состояния человека в целом. Исследователь сталкивается с необходимостью использования ряда регрессионных моделей, описывающих взаимосвязь отдельного показателя функционального состояния человека (далее ФСЧ) с комбинацией факторов внешней среды (далее ФВС). Число таких уравнений в зависимости от количества показателей ФСЧ может быть весьма велико, что вызывает затруднения на практике. В наших исследованиях для комплексной оценки влияния ФВС (шум, вибрация, температура воздуха, освещенность) на ФСЧ использована модель, связывающая всю совокупность показателей функционального состояния человека со всей совокупностью показателей факторов внешней среды. Полученная модель позволила выявить, что комплексное воздействие ФВС в зависимости от уровня здоровья каждого человека может усиливать или ослаблять системный ответ организма. Исходя из взаимосвязи интегральных показателей функционального состояния человека и физических факторов среды, разработаны вероятностные номограммы для прогнозирования ФСЧ по его интегральному показателю ФВС. Данная методология может использоваться для решения различных гигиенических задач, касающихся оценки и нормирования комплекса физических факторов. При этом число исследуемых физических факторов может быть расширено, а в качестве ответных реакций могут использоваться не только реакции со стороны различных функциональных систем, но и показатели здоровья, что позволит прогнозировать риск его нарушения [12].

## 5. Заключение

Основным механизмом, посредством которого осуществляется приспособление организма к влияниям внешних для него физических факторов волновой природы, является нейрогуморальный с его рефлекторным и гуморальным звеньями, находящимися в постоянном динамическом взаимодействии. Рефлекторное звено с заложенными в коже и других тканях и органах тела человека рецепторами раздражений является первичным приемником и проводником воспринятых раздражений в центральную нервную систему. В центральной нервной системе в процессе ее весьма сложной аналитико-синтетической деятельности с участием вегетативных и высших регуляторных центров формируется ответная реакция организма на раздражение от внешнего физического фактора. Эта реакция проявляется рядом согласованных физиологических процессов в эффекторных органах и системах организма; в указанных процессах гуморальному звену принадлежит одно из ведущих мест [14].

Один и тот же физический фактор может дать различный эффект в зависимости от исходного функционального состояния организма и его нервной системы. При нормальном состоянии организма его реакции будут направлены, на устранение возникших в процессе воздействия изменений и быстрейшее восстановление нарушенного равновесия; при наличии в организме патологического процесса, когда нормальные отношения и состояние основных нервных процессов оказываются нарушенными и сопровождаются нарушением деятельности различных физиологических систем, воздействие физического фактора будет направлено на восстановление нарушенного физиологического равновесия и проявится в мобилизации и усилении естественных механизмов защиты организма против болезни.

Большое значение для ответной реакции организма имеет интенсивность применяемого физического фактора, продолжительность его действия и последовательность применения, а также локализация воздействия. Один и тот же фактор при небольшой интенсивности может оказывать возбуждающее действие, а при большой - приводить к противоположному эффекту. Короткое по продолжительности воздействие может стимулировать те или иные функции организма, продолжительное же может вызывать в центральной нервной системе тормозной эффект. Ежедневные однократные и повторные воздействия или воздействия с промежутками в один или несколько дней могут дать совершенно различные результаты. Наконец, немалое значение имеет и локализация воздействия: в одних случаях при местном приложении лечебного фактора возникают преимущественно местные ответные реакции, в других - на первый план выступает генерализованная ответная реакция организма.

Выбирая для наилучшего, целенаправленного воздействия на течение патологического процесса тот или иной физический фактор, необходимо учитывать все особенности применения и действия последнего.

Специфической особенностью гальванического тока является перемещение электрически заряженных частиц - электронов - в твердом или положительно и отрицательно заряженных ионов в жидком проводнике. В теле человека, содержащем в сложных растворах различные электролиты в виде положительно и отрицательно заряженных ионов, действие гальванического тока осуществляется в виде перемещения ионов в электрическом поле между наложенными на тело электродами в соответствии с их полярностью. У межклеточных мембран накапливаются наиболее подвижные ионы, частично проникающие через эти мембраны. Сами клеточные мембраны с их коллоидной субстанцией изменяют свою осмотическую проницаемость. Благодаря этому изменяется кислотно-щелочное равновесие в тканях, их водный баланс, электрические потенциалы, на поверхности нервного волокна изменяется содержание биологически активного вещества - ацетилхолина, в коже - гистамина и т. д. [11].

### **Библиографический список**

1. Афанасьева Р. Ф. Сочетанное действие факторов производственной и окружающей среды на организм человека (аналитический обзор) // Бюллетень научного совета "Медико-биологические проблемы работающих", № 2, 2005, с. 58-70.
2. Афанасьева Р. Ф. Прогнозирование теплового состояния человека при воздействии комплекса факторов/ Р. Ф. Афанасьева, Г. А. Суворов, А. Г. Антонов, А. Ф. Бобров, Т. К. Лосик, С. Н. Соколов // Медицина труда и промышленная и промышленная экология. – № 2, 2000. – 9 с.
3. Бабаян М. А., Денисов М. И. Сочетанное действие шума, тепла и оценка их биологической эквивалентности // Гигиена труда и профзаболевания. – 1991, № 9. – С. 24-26.
4. Белинский С. О. Комбинированное действие электромагнитных полей // Естествознание и гуманизм: сборник научных работ. – Томск: Сибирский государственный медицинский университет. – т. 2, № 1, 2005. – С. 60-62.
5. Беличева Д. Б. Комплексная оценка условий труда рабочих виброопасных профессий // Гигиена труда и профзаболевания. – 1992, № 3. – С. 20-23.
6. Васильев А. В. Проблемы оценки сочетанного влияния шума и других физических факторов на здоровье человека // Известия Самарского научного центра РАН. – т. 14, № 6-1, 2012.

7. Васильев А. В. Мониторинг физических полей урбанизированных территорий: современные подходы, проблемы, перспективы // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск «ELPIT-2005». – 2005, т.1. С. 111-118.

8. Денисова С. А. Сочетанное воздействие низкоинтенсивного электромагнитного излучения терагерцового диапазона и экотоксикантов на биологические объекты. Автореф. дис. на соискание степени к.б.н. – М., 2008. – 16 с.

9. Дунаев В. Н., Быстрых В. В., Боев В. М. Вклад физических факторов в комплексную антропогенную нагрузку промышленного города // Гигиена и санитария. № 6, 1998. – С. 58-61.

10. Куликов В. Ю., Тимофеева Ю. С. Оценка сочетанного влияния различных вариаций геомагнитного и радиационного полей на осмотическую резистентность эритроцитов человека в условиях IN VITRO // Новосибирский государственный медицинский университет. Минздравсоцразвития. – Новосибирск, 2015.

11. Лукичева Т. А. Проблема сочетанного действия на человека неблагоприятных факторов; способы защиты при аварийных ситуациях. Автореф. д.м.н. – М., 1996.

12. Нормирование физических факторов. – URL: <http://doctor-centr.ru/info/normirovanie-fizicheskikh-faktorov> (дата обращения 10.12.2016).

13. Петин В. Т., Дергачёва И. П., Жураковская Г. П. Комбинированное биологическое действие ионизирующих излучений и других вредных факторов окружающей среды (Научный обзор) / Радиация и риск. – вып. 12, 2001. – С. 117-133.

14. Сочетанное действие вредных факторов. – URL: <http://12fan.ru/3338207846.html> (дата обращения 10.12.2016).

15. Суворов В. Г. Медико-биологические основы оценки сочетанного влияния производственной среды и трудового процесса на организм человека. Автореф. д.м.н. – М., 2004. – 277 с.

## References

1. Afanasyeva R. F. *Byulleten' nauchnogo soveta "Mediko-biologicheskie problemy rabotayushchih"* Scientific – Bulletin Board "Medico-biological problems of working", no. 2, 2005, pp. 58–70 (in Russian).

2. Afanasyeva R. F., Suvorov G. A., Antonov A. G., Bobrov A. F., Losik T. K. & Sokolov S. N. *Medicina truda i promyshlennaya i promyshlennaya ehkologiya – Labor Medicine industrial and industrial ecology*, no. 2, 2000 – 9 p. (in Russian).

3. Babayan M. A. & Denisov M. I. *Gigiena truda i profzabolevaniya – Occupational hygiene and occupational diseases*, 1991, no. 9, pp.24–26 (in Russian).

4. Belinsky S. O. *Estestvoznanie i gumanizm: sbornik nauchnyh rabot [Natural and Humanism: sb. Scien. Work – Tomsk, Siberian State Medical University, vol. 2, no. 1, 2005, pp. 60–62 (in Russian).*
5. Belicheva D. B. *Gigiena truda i profzabolevaniya – Occupational hygiene and occupational diseases, 1992, no. 3, pp.20–23 (in Russian).*
6. Vasiliev A. V. *Izvestiya samarskogo nauchnogo centra RAN – Bulletin of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, vol. 14, no. 6-1, 2012 (in Russian).*
7. Vasiliev A. V. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. Special'nyj vypusk «ELPIT-2005” – Bulletin of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Special issue «ELPIT-2005”, 2005, vol.1, pp. 111–118 (in Russian).*
8. Denisova S. A. Sochetannoe vozdejstvie nizkointensivnogo ehlektromagnitnogo izlucheniya teragercovogo diapazona i ehkotosikantov na biologicheskie ob"ekty. Avtoref. dis. na soiskanie stepeni kandidata biologicheskikh nauk [The combined effect of low-intensity electromagnetic radiation in the terahertz range and toxicants on biological objects. Author. Dis. for the degree of Ph.D.]. Moskow, 2008. 16 p. (in Russian).
9. Dunaev V. N., Fast V. V. & Boev V. M. *Gigiena i sanitariya – Hygiene and sanitation, no. 6, 1998, pp. 58–61 (in Russian).*
10. Kulikov V. Y. & Timofeeva Yu. S. *Novosibirskij gosudarstvennyj medicinskij universitet. Minzdravsocrazvitiya – Medical University «Novosibirsk State Medical University," the Health Ministry, Novosibirsk, 2015 (in Russian).*
11. Lukicheva T. A. Problema sochetannogo dejstviya na cheloveka neblagopriyatnyh faktorov; sposoby zashchity pri avarijnyh situacijah. Avtoref. d.m.n. [Problem combined action on human adverse factors; methods of protection in emergency situations. Author]. MD Moskow, 1996 (in Russian).
12. Normirovanie fizicheskikh faktorov [Rationing physical factors]. URL: <http://doctor-centr.ru/info/normirovanie-fizicheskikh-faktorov> (10/12/2016).
13. Petin V. T., Dergacheva I. P. & Zhurakovskaya G. P. *Radiaciya i risk – Radiation risk, no. 12, 2001, pp. 117–133 (in Russian).*
14. Sochetannoe dejstvie vrednyh faktorov [The combined effect of harmful factors]. URL: <http://12fan.ru/3338207846.html> (10/12/2016).
15. Suvorov V. G. Mediko-biologicheskie osnovy ocenki sochetannogo vliyaniya proizvodstvennoj sredy i trudovogo processa na organizm cheloveka. Avtoref. d.m.n. [Biomedical bases of an estimation of the combined effect of the production environment and labor process on the human body. Author. MD]. Moskow, 2004 (in Russian).

**Сведения об авторе:**

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

E-mail: smapollon@yahoo.com

**About the author:**

Stanislav M. APOLLONSKIY, Honored Worker of Science, Doctor of Technical Sciences, Professor. A specialist in the field of electromagnetic safety of technical devices and biological objects (including humans) in the technosphere; design of electric machines and electric devices.

E-mail: smapollon@yahoo.com

**А. М. Трегубова<sup>1</sup>, Н. Г. Привалов<sup>2</sup>, С. Г. Привалова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>- ПАО «Аэрофлот», филиал в СПб

<sup>2</sup>- Санкт-Петербургский государственный экономический университет

## **ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ АВИАКОМПАНИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

Дата поступления 31.07.2016

Решение о публикации: 27.03.2017

Дата публикации: 30.04.2017

**Аннотация:** В данной статье рассматривается проблема управления затратами авиакомпании. Примененные методы теоретического исследования: метод классификации, сравнения, обобщения, анализ и синтез. В статье анализируется научно-обоснованная классификация затрат, так как классификация затрат – это первый шаг на пути совершенствования системы управления затратами. В статье выделены различные признаки классификации затрат. Проведен анализ классификации затрат по трем основным направлениям - классификация затрат для определения себестоимости продукции (работ, услуг), для принятия управленческих решений и для контроля и регулирования деятельности центров ответственности.

Авторы выделяют и описывают характерные задачи управления затратами на предприятии и отмечают, что для повышения экономической эффективности предприятия все задачи управления затратами должны решаться комплексно. Особое внимание авторы концентрируют на том, что решение поставленных предприятием задач требует систематизации многообразия существующих методов управления затратами. Исследуя основные методы управления затратами, авторы выявляют их сильные и слабые стороны. Основываясь на преимуществах и недостатках каждого метода, современные предприятия могут применять смешанную модель управления финансовыми затратами.

Авторы приходят к выводу, что основным инструментом управления затратами является анализ отклонений фактических затрат от их нормативных значений, которые рассчитываются отдельно по каждому центру ответственности и элементу затрат.

В статье описывается специфика затрат авиакомпаний. Основное содержание исследования составляет анализ существующих на сегодняшний день методов и рекомендаций по расчету себестоимости рейсов авиакомпаний. В заключении делается вывод: исходя из своих конкретных потребностей, авиакомпании могут выбирать различные подходы и методики к калькулированию себестоимости авиаперевозок.

**Ключевые слова:** управление затратами авиакомпании; классификация затрат; метод управления затратами; преимущества метода; недостатки метода; себестоимость; себестоимость авиаперевозок; методика расчета себестоимости авиаперевозок.

**A. M. Tregubova<sup>1</sup>, N. G. Privalov<sup>2</sup>, S. G. Privalova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> - PAO "Aeroflot" the branch in St. Petersburg

<sup>2</sup> - St. Petersburg State University of Economics

## THE FEATURES OF COSTS MANAGEMENT AT AN AIRLINE: THEORETICAL BASICS

**Abstract:** This article describes cost management's problem at an airline. The applied methods of theoretical research are the classification method, comparison, generalization, analysis and synthesis. Scientifically based classification of costs is analyzed in the article, i.e. a cost classification is the first step towards improving the cost management. The various features of the classification of costs are deduced in the article. The analysis of the classification of costs is performed in three main areas: cost classification for determining a production cost (works, services), classification for management decisions also for control and regulation the activities of the responsibility centers.

Authors identify and describe the typical tasks of cost management at an enterprise and note that all tasks of the cost management must be solved complexly so as improve the economic efficiency of the enterprise. Authors concentrate special attention on the fact that the problem solving set by enterprise expects systematization of the cost management methods' varieties. Exploring the main cost management methods, authors reveal their advantages and disadvantages. Based on the advantages and disadvantages of each method modern enterprises can use a mixed model of management of the financial costs.

Authors conclude that the main cost management tool is the analysis of the actual cost's deviation from their standard values which are calculated separately for each responsibility center and cost element.

The article describes the specifics of an airline's costs. The main content of the research is the analysis of the air transportation's prime cost calculation technique existing nowadays. The conclusion: based on the specific needs airlines may choose different approaches and methodologies for the calculation of the air transportation's prime cost.

**Keywords:** cost management of an airline; cost classification; method of control cost; advantages of a method; disadvantages of a method; prime cost; air transportation's prime cost; air transportation's prime cost calculation technique.

### Введение

Отличительной чертой любой коммерческой организации, в том числе и авиакомпании, является получение всеми доступными и законными путями максимально высокой чистой прибыли и её распределение между основными участниками. Достижение этой конечной цели зависит от многих факторов, таких как: эффективный менеджмент, рациональное использование материальных, финансовых и кадровых ресурсов, координация доходов и в частности – *управление затратами предприятия*.

На сегодняшний день существует множество методов управления затратами, разработанных как зарубежными, так и отечественными учеными. Однако о сравнении разнообразия методов управления затратами и выявлении сильных и слабых сторон каждого из них сказано мало. Также необходимо сказать о том, что на данный момент проблемой управления

затратами именно на авиапредприятии занимается узкий круг ученых. Следует отметить работы современных отечественных авторов: Е. В. Костроминой, М. И. Степановой, Е. Ю. Захаровой, М. В. Чувашловой.

## Цели

В статье намечены следующие цели:

- 1) максимально лаконично и доступно для практического использования изложить преимущества и недостатки основных методов управления затратами;
- 2) выявить современные методы управления затратами авиакомпании.

## Методология

Как полагается любому исследованию, написание статьи начинается с изучения литературы и результатов научной деятельности современных ученых, занимающихся понятием «управление затратами» и более узкими вопросами управления затратами авиакомпании. Изучение литературы поможет использовать накопленный опыт в написании статьи.

Применив метод анализа, классификации и обобщения, сформулируем различные признаки классификации затрат на производство продукции, выявим три основных направления классификации затрат, предназначенные для решения определенных управленческих задач, и перечислим виды затрат по каждой из трех классификаций.

При помощи методов анализа, сравнения и синтеза составим таблицу преимуществ и недостатков основных методов управления затратами.

Также методология анализа и синтеза позволит привести основные положения о методах управления затратами, применяемые авиакомпаниями на сегодняшний день, которые будут подвергнуты анализу с последующим выводом.

## Результаты

Само понятие «затраты» являются преимущественно категорией управленческого учета. Как исключительно сложное явление затраты представлены множеством различных классификаций, осуществляемых по разным критериям. Для эффективной организации планирования, контроля, учета и анализа затрат большое значение имеет их научно обоснованная классификация.

Систематизируя различные основания для классификации затрат, сформулируем основные признаки их классификации (см. Таблицу 1).

В теории и практике управления затратами предлагаются и используются всевозможные классификации затрат. Однако большинство

авторов сходятся во мнении, что классификация затрат должна быть нацелена на решение определенных управленческих задач. В связи с этим целесообразна классификация затрат по следующим трем основным направлениям:

I. Классификация затрат для определения себестоимости продукции (работ, услуг): входящие и истекающие, прямые и косвенные, основные и накладные, затраты на продукт и расходы периода, одноэлементные и комплексные, по статьям калькуляции.

II. Классификация затрат для принятия управленческих решений, существенно отличается от той, которая необходима в целях расчета себестоимости выпускаемой продукции. В связи с тем, что управленческие решения, как правило, ориентированы на перспективу, руководству необходима детальная информация об ожидаемых расходах и доходах.

Таблица 1. Классификация затрат на производство

<b>Признаки классификации</b>	<b>Подразделение затрат</b>
По экономическим элементам	Экономические элементы
По статьям себестоимости	Статьи калькуляции себестоимости
По отношению к технологическому процессу	Основные, накладные
По составу	Одноэлементные, комплексные
По способу отнесения на себестоимость продукции	Прямые, косвенные
По роли в процессе производства	Производственные, внепроизводственные
По целесообразности расходования	Производительные, непроизводительные
По возможности охвата планом	Планируемые, непланируемые
По отношению к объему производства	Переменные, постоянные, смешанные
По периодичности возникновения	Текущие, единовременные
По отношению к готовому продукту	Затраты на незавершенное производство, затраты на готовый продукт
По месту возникновения	Цехи, участки и другие структурные подразделения
По носителям затрат	Виды продукции, работ, услуг
По фазам кругооборота	Снабженческо-заготовительные, производственные, сбытовые, финансовые
По способу получения	Фактические, плановые, нормативные
По степени обобщения	Совокупные, удельные

Поэтому в управленческом учете при выполнении расчетов, связанных с принятием решения, выделяют следующие виды затрат: *переменные и постоянные затраты, вмененные затраты, альтернативные затраты, релевантные затраты, инкрементные затраты, маржинальные затраты, планируемые и непланируемые затраты.*

III. Классификация затрат для контроля и регулирования деятельности центров ответственности: *контролируемые и неконтролируемые, регулируемые и нерегулируемые, эффективные и неэффективные, в пределах норм и отклонений от норм.*

Классификация затрат является первым шагом на пути совершенствования системы управления затратами любого предприятия. Разработка всех дальнейших мероприятий, связанных с выбором оптимальной системы управленческого учета, формированием способов распределения накладных расходов, обоснованием метода калькулирования себестоимости продукции, так или иначе, базируется на научно обоснованной классификации затрат предприятия [5].

На сегодняшний день управление затратами может быть рассмотрено как отдельная область менеджмента и как обособленный орган в системе управления предприятием. Сам процесс управления затратами не сводится только к снижению затрат, так как распространяется на все элементы управления.

Необходимо отметить, что для повышения экономической эффективности предприятия все задачи управления затратами должны решаться комплексно. К ним относятся: выявление роли управления затратами как фактора повышения экономических результатов деятельности предприятия; определение затрат по основным функциям управления; расчет затрат по основным подразделениям предприятия; расчет необходимых затрат на единицу продукции; подготовка информационной базы, позволяющей оценить затраты при выборе и принятии решений; определение основных методов управления затратами; определение экономических и технических способов и средств измерения, учета и контроля затрат на предприятии; выбор системы управления затратами, соответствующей условиям работы предприятия. Только решение задач в комплексе позволит снизить затраты до рационального уровня и повысить конкурентоспособность предприятия в целом.

Решение поставленных предприятием задач требует систематизации многообразия существующих методов управления затратами, среди которых наиболее значимыми считаются: «Стандарт-кост» (Standard-Cost); «Директ-костинг» (Direct-Costing-System); Пооперационный учет или метод учета затрат по работам (Activity-Based Costing); метод ABC; Система Just-in-Time (JIT) — «точно в срок»; Калькулирование целевой себестоимости (Target-Costing); Анализ цепочки ценностей (Value Chain Analysis); Процессно-ориентированное управление затратами (Activity-Based Management); Сравнения ключевых показателей и процессов с наилучшей практикой (Benchmarking); Реинжиниринг бизнес-процессов (Business Process Re-engineering); Метод непрерывного совершенствования (Kaizen-Costing); Стратегическое позиционирование (Strategic Positioning Analysis); Анализ затратнообразующих факторов (Cost Driver Analysis);

Функционально-стоимостный анализ (ФСА); Концепция управления затратами жизненного цикла (Life Cycle Costing - LCC).

Рассмотрим положительные и отрицательные качества основных методов управления затратами (см. Таблицу 2).

Основываясь на преимуществах и недостатках каждого метода, современные предприятия могут применять смешанную модель управления финансовыми затратами. Сочетание методов и использование их лучших качеств позволит предприятию достигнуть главной цели и достичь высоких экономических результатов.

Таким образом, управление затратами – это динамичный процесс, включающий управленческие действия прямой и обратной связи, целью которых является достижение высокого экономического результата деятельности предприятия. Функции управления затратами реализуются с помощью инструментов управления: нормативной базы, системы классификации, показателей, применения различных методов анализа, управления и прогнозирования затрат.

Таблица 2. Преимущества и недостатки основных методов управления затратами

Метод управления затратами	Преимущества	Недостатки
1. Метод учета затрат по работам — ABC (Activity Based Costing)	1. выявление дополнительных резервов для снижения затрат в ходе рационализации бизнес-процессов; 2. высокая точность определения себестоимости и рентабельности; 3. выявление причинно-следственной взаимосвязи между величиной затрат и процессами, происходящими на предприятии; 4. улучшение механизма контроля и управления затратами.	1. сложность системы (на каждый бизнес-процесс воздействует множество факторов, которые сложно определить, в особенности краткосрочные факторы); 2. повышенный размер затрат на создание и эксплуатацию системы.
2. «Стандарт-кост» (Standard Costs)	1. оперативность выявления негативных тенденций в процессе формирования затрат и прибыли организации, контроль и обобщение данных о фактических потерях; 2. получение информации о стандартных затратах на отдельные виды продукции; 3. поиск резервов снижения затрат;	1. трудоемкость определения стандартов на базе технологической документации производства; 2. сложность определения и составления стандартов в условиях инфляции и при выполнении большого количества разных по характеру и типу заказов за сравнительно короткое

	4. оценка результатов работы производственных подразделений и предприятия в целом.	время; 3. стандарты можно устанавливать не на все производственные затраты, как следствие – ослабление контроля.
3.«Директ-костинг» (Direct-Costing-Sistem)	1. простота нормирования, планирования, учета и контроля затрат; 2. высокий уровень контроля и регулирования себестоимости и отдельных статей затрат; 3. отсутствие сложных расчетов распределения постоянных затрат по видам продукции; 4. при изменении условий рынка и позиций конкурентов, производство можно быстро переориентировать; 5. гибкость и оперативность принятия управленческих решений в сфере формирования затрат, себестоимости и прибыли.	1. сложность точного распределения затрат на переменные и постоянные; 2. сложность в формировании полной себестоимости готовой продукции или незавершенного производства; 3. сложность системы ценообразования, в связи с необходимостью дополнительных расчетов по распределению постоянных расходов.
4. Системы «Таргет-костинг» (Target Costing) и «Кайзен-костинг» (Kaizen Costing)	1. успешное применение в условиях жесткой конкуренции.	1. сложность системы; 2. большая зависимость от человеческого фактора.
5. Система «точно в срок» - Just-in-Time (JIT)	1. минимизация объема товарно-материальных запасов и затрат на их содержание; 2. сокращение производственно-финансового цикла организации, повышение оборачиваемости ресурсов; 3. высокое качество продукции при пониженном уровне производственных затрат; 4. точность формирования себестоимости; 5. простота системы производственного учета затрат.	1. ориентированность на единичное или мелкосерийное производство.
6. Сравнение с лучшими показателями конкурентов (Benchmarking)	1. наличие широких перспектив в сфере инновационной деятельности организации, для выхода в лидеры.	1. отсутствие полной картины деятельности предприятия, узкая направленность (сравниваются только ключевые позиции);

		2. сложность в создании и ведении сравнительных баз данных.
7. Анализ цепочки ценностей (Value Chain Analysis)	1. анализ выходит за рамки конкретного предприятия, акцент делается не только на внутри происходящих процессах; 2. четкость и логика при определении управляющих процессов; 3. деятельность подразделений непрерывно увязана «сквозным образом»; 4. четкость и структурированность картины в целом	1. сложность схем для визуального восприятия; 2. схемы не показывают динамику бизнес-процессов (сложно осуществить привязку процессов ко времени выполнения, например, показать одновременно выполняемые процессы); 3. высокие требования к квалификации сотрудника, выполняющего построение схемы, и понимание им методики
8. Функционально-стоимостный анализ (ФСА)	1. дает информацию о всех информационных функциях, об их стоимости и потреблении; 2. появляется возможность принимать верные стратегические решения в отношении политики цен на продукты.	1. невозможность достаточно точно передать издержки производства отдельного продукта; 2. невозможность обеспечить обратную связь – информацию для менеджеров, необходимую для оперативного управления; 3. процесс описания функции слишком сложен и детализирован; 4. требуются специальные программные средства.
9. Концепция управления затратами жизненного цикла (Life Cycle Costing - LCC)	1. возможность прогнозировать и управлять затратами на производство продукции еще на стадии проектирования	1. не все статьи затрат попадают в сферу применения процедур управленческого учета, направленных на оптимизацию себестоимости продукции, нарушается связь между затратами продукта на всех этапах жизненного цикла продукта. 2. серьезное искажается величина показателя себестоимости, что потенциально может привести к принятию неверных управленческих решений.

10. Контроллинг	1. повышение прибыльности и гибкости предприятия в краткосрочном и долгосрочном периодах; 2. простота моделей; 3. возможность начать с внедрения в одном подразделении, чтобы затем распространить опыт на все предприятие.	1. усложнение по сравнению с традиционными методиками; необходимость дополнительного обучения; 2. полный результат появляется нескоро, только после внедрения системы на всем предприятии в целом.
-----------------	---	---

Из сказанного можно заключить, что основным инструментом управления затратами является анализ отклонений фактических затрат от их нормативных значений, которые рассчитываются отдельно по каждому центру ответственности и элементу затрат. «Для эффективного оперативного управления затратами необходимо определить, какие отклонения какими факторами вызваны, установить ответственность за произошедшее негативное отклонение, принять решения, позволяющие избежать нежелательных отклонений в будущем» [4].

Авиатранспортная продукция имеет существенные отличия в структуре затрат, входящих в себестоимость продукции. В отличие от большинства отраслей материального производства продукцией авиатранспорта является услуга (авиаперевозка). Она имеет свои особенности, основной из которых является отсутствие вещественного содержания и способности накапливаться и производиться впрок. «Для оказания транспортных услуг не требуется сырье и, следовательно, отсутствует незавершенное производство. Именно поэтому структура затрат авиакомпании, входящих в состав себестоимости продукции, имеет свои существенные отличия, рассматривать ее стоит отдельно от любого другого предприятия» [2].

Особенности воздушного транспорта, как отрасли материального производства, в первую очередь отражаются в структуре эксплуатационных расходов. В себестоимости продукции гражданской авиации преобладают затраты на запасные части, топливо и смазочные материалы. В связи с этим удельный вес амортизации самолетов, вертолетов, авиадвигателей (СВАД), авиационных горюче-смазочных материалов (АГСМ) в 5 - 6 раз выше, чем в среднем по промышленности.

Основным показателем для экономической оценки целесообразности эксплуатации воздушных судов (ВС) на авиалиниях, приобретения или получения в лизинг новых самолетов, а также обоснования тарифов на авиационные перевозки является *себестоимость*. *Себестоимость* продукции – это выраженные в денежной форме затраты на ее производство и реализацию [3]. В гражданской авиации (ГА) *себестоимостью* называются эксплуатационные расходы, отнесенные на единицу продукции

или услуги. По сути это стоимостная оценка используемого АГСМ, материалов, энергии, основных фондов, трудовых ресурсов, затрат на пролеты и обеспечение взлетов-посадок, а также других затрат, необходимых для выполнения регулярных и нерегулярных рейсов ВС по внутренним воздушным линиям (ВВЛ) или международным воздушным линиям (МВЛ).

В условиях развития рыночных отношений и здоровой конкуренции интерес к показателю себестоимости рейсов и методикам ее расчета значительно возрос. Решению проблемы определения себестоимости авиаперевозок посвящены ряд методик и методических рекомендаций, утвержденных руководящими органами ГА РФ [1]:

1. Метод расчета себестоимости рейса по статьям затрат (Методические рекомендации по определению себестоимости рейсов ВС ГА от 19.10.1993 г. № ДВ15.1-178).

2. Метод расчёта себестоимости рейса по статьям затрат (Методические рекомендации по определению себестоимости внутренних и международных рейсов для российских авиакомпаний от 15.07.1999г. № ФСВТ 7.7-188).

3. Метод расчета себестоимости рейса по расходам на взлет-посадку и летный час.

4. Метод расчета себестоимости авиаперевозок и определения финансового результата по суммам покрытия.

Кратко рассмотрим каждый из предлагаемых методов.

**Первый метод** предполагает следующий порядок расчета расходов на рейс по статьям затрат:

1. «Расходы на АГСМ».
2. «Амортизация СВАД».
3. «Отчисления в ремонтный фонд СВАД».
4. «Заработная плата летного состава».
5. «Заработная плата бортпроводников».
6. «Расходы по техническому обслуживанию».
7. «Аэропортовые расходы».
8. «Аэронавигационные сборы».
9. «Прочие производственные и общехозяйственные расходы».
10. «Отчисления агентству».

Себестоимость рейса рассчитывается в соответствии с каждой калькуляционной статьей, по определенным формулам расчета, которые подробно расписаны в методических рекомендациях.

**Второй метод** был опубликован в «Методических рекомендациях по определению себестоимости внутренних и международных рейсов для российских авиакомпаний» от 15.07.1999 г. № ФСВТ 7.7-188 и является

новой редакцией методики от 1993 г.

В данном случае расчет себестоимости рейсов ВС производится по двум группам затрат, которые могут быть прямо включены в себестоимость рейсов, но различающиеся способами расчета.

К первой группе прямых эксплуатационных расходов относятся затраты, связанные непосредственно с выполнением рейсов: аэропортовые расходы; затраты на оперативное техническое обслуживание; расходы на АГСМ; аэронавигационные сборы; сборы за метеообеспечение; расходы на питание пассажиров и экипажей в рейсе; расходы на содержание и питание экипажей в аэропортах; расходы на страхование пассажиров (грузов); отчисление агентам.

Ко второй группе прямых эксплуатационных расходов относятся затраты, зависящие от налета часов по типам ВС: амортизация ВС и авиадвигателей (АД); затраты, связанные с лизингом ВС; расходы на оплату труда летного состава и бортпроводников; отчисления на социальные нужды с заработной платы летного состава и бортпроводников; расходы на капитальный ремонт ВС и АД; расходы на страхование ВС, профессиональной ответственности и ответственности перед третьими лицами (включая расходы по обязательному страхованию ВС и профессиональной ответственности летного и инженерно-технического персонала, включаемого в состав экипажа согласно порядку, установленному Гражданским кодексом РФ); расходы на периодическое техническое обслуживание.

Планирование и учет затрат по техническому обслуживанию ВС и АД, выполняемых собственными силами авиакомпании, проводится по следующим статьям: оплата труда с отчислениями на социальные нужды инженерно-технических и других работников, занятых техобслуживанием авиационной техники; амортизация на восстановление ОПФ (спецавтотранспорта, зданий и сооружений), предназначенных для технического обслуживания; материальные затраты (расходные материалы, агрегаты, съемные изделия, радионавигационное и радиотехническое оборудование, электроэнергия и т. д.); расходы на содержание и эксплуатацию зданий и сооружений, спецавтотранспорта, оборудования, инвентаря, коммунальные расходы; затраты на все виды ремонта ОПФ; аренда и услуги сторонних предприятий и организаций; прочие производственные и общехозяйственные расходы.

По эксплуатируемым типам ВС затраты на техническое обслуживание распределяются пропорционально объему работ в нормо-часах.

К косвенным или накладным расходам относятся затраты, связанные с управлением авиакомпанией, расходы по содержанию служб общехозяйственного назначения и прочие. Накладные расходы, согласно

методическим рекомендациям, определяются по авиакомпании в целом, а затем распределяются на рейс или летный час по типам ВС, согласно принятым в авиакомпании способам распределения затрат.

«Методика 1999 г. носит рекомендательный характер, поскольку позволяет более точно определять себестоимость авиаперевозок, хотя при расчетах по ней остается довольно большой удельный вес общепроизводственных расходов, распределенный крайне грубо по объектам калькуляции, что создает трудности при принятии решения о реструктуризации перевозок» [1].

**Третий метод** применяется многими авиакомпаниями. Он имеет упрощенную методику расчета себестоимости авиаперевозок, разделяя транспортный процесс на отдельные операции — движущую и начально-конечную — и определяя летные расходы и расходы на самолето-вылеты (отправки).

Основной принцип калькулирования расходов по авиалиниям заключается в выделении прямых затрат, непосредственно относимых на расходы по типам ВС на конкретной авиалинии (в зависимости от выполнения внутренней или международной авиаперевозки) и распределение остальных расходов, рассматриваемых как косвенные, на основе различных измерителей.

При выборе методов калькулирования и способов расчета себестоимости самолето-вылетов (отправок) из аэропорта принимаются во внимание различия в формировании расходов по обеспечению самолето-вылетов (отправок); особенности организационной структуры предприятия, объем его работы, неавиационная деятельность аэропорта, участие предприятия в другой коммерческой деятельности и др.

Определение себестоимости самолето-вылетов из базового аэропорта базируется на основных положениях действующих методик и рекомендаций и разработке новых подходов и способов расчетов с учетом особенностей деятельности авиакомпаний, принимая во внимание общие принципы политики ИКАО в области аэропортовых сборов. Данный метод обеспечивает достаточную гибкость для дальнейшего совершенствования способов определения себестоимости самолето-вылетов из аэропортов и расходов по эксплуатации ВС по отдельным авиалиниям.

**Четвертый метод.** Метод расчета себестоимости авиаперевозок и определения финансового результата по суммам покрытия (метод маржинального дохода). Эта методика была разработана на основе опыта как ведущих иностранных (Lufthansa), так и некоторых российских авиакомпаний (Аэрофлот), и является новейшей из всех ныне существующих. IATA предложила классифицировать эксплуатационные затраты на прямые и косвенные (рис. 1).

Прямые расходы связаны с предварительной подготовкой и непосредственным выполнением соответствующих рейсов. Косвенные расходы связаны с обеспечением внутренней деятельности авиакомпании, решением всевозможных организационных вопросов, а также с формированием и расширением рыночной ниши. Данная группа затрат относится к перевозочной деятельности в целом, не разделяясь по отдельным видам услуг. Поэтому перенесение указанных расходов на себестоимость выполненных перевозок осуществляется пропорционально предложенным тонно-километрам, кресло-километрам, налету часов, самолето-вылетам и др. С целью аналитического учета косвенные расходы сгруппированы по двум направлениям: прочие производственные и накладные расходы; административные расходы.

Прямые эксплуатационные расходы, как и доходы, зависят от объемов перевозок, но эта зависимость не прямо-пропорциональная, так как разные группы расходов по-разному реагируют или не реагируют вообще на колебания объемных показателей. Поэтому прямые расходы авиакомпании по принципу их зависимости подразделяются на две составляющие: прямые переменные расходы и прямые постоянные расходы [1].

Специфика перевозочной деятельности на воздушном транспорте (ВТ) заключается в том, что выполнение коммерческого рейса разделяется на два явно выраженных этапа: осуществление непосредственного полета ВС и обслуживание пассажиров. В связи с этим прямые переменные расходы подразделяются на «расходы, связанные с пассажирами» — включают расходы по предоставлению сервиса пассажирам на земле (предполетного) и на борту; «расходы, связанные с полетом» — включают расходы по обслуживанию ВС перед рейсом и во время полета.

*Экономическое содержание суммы покрытия (СП)* таково: это часть доходов, которая остается в распоряжении авиапредприятия после покрытия некоторой группы затрат, т.е. это критерий окупаемости определенного этапа производства. Поэтому принцип распределения расходов и их соотнесение с той или иной группой расходов является наиболее важным моментом при оценке деятельности предприятия. От этого зависят не только промежуточные показатели анализа, но и общий результат работы авиапредприятия.

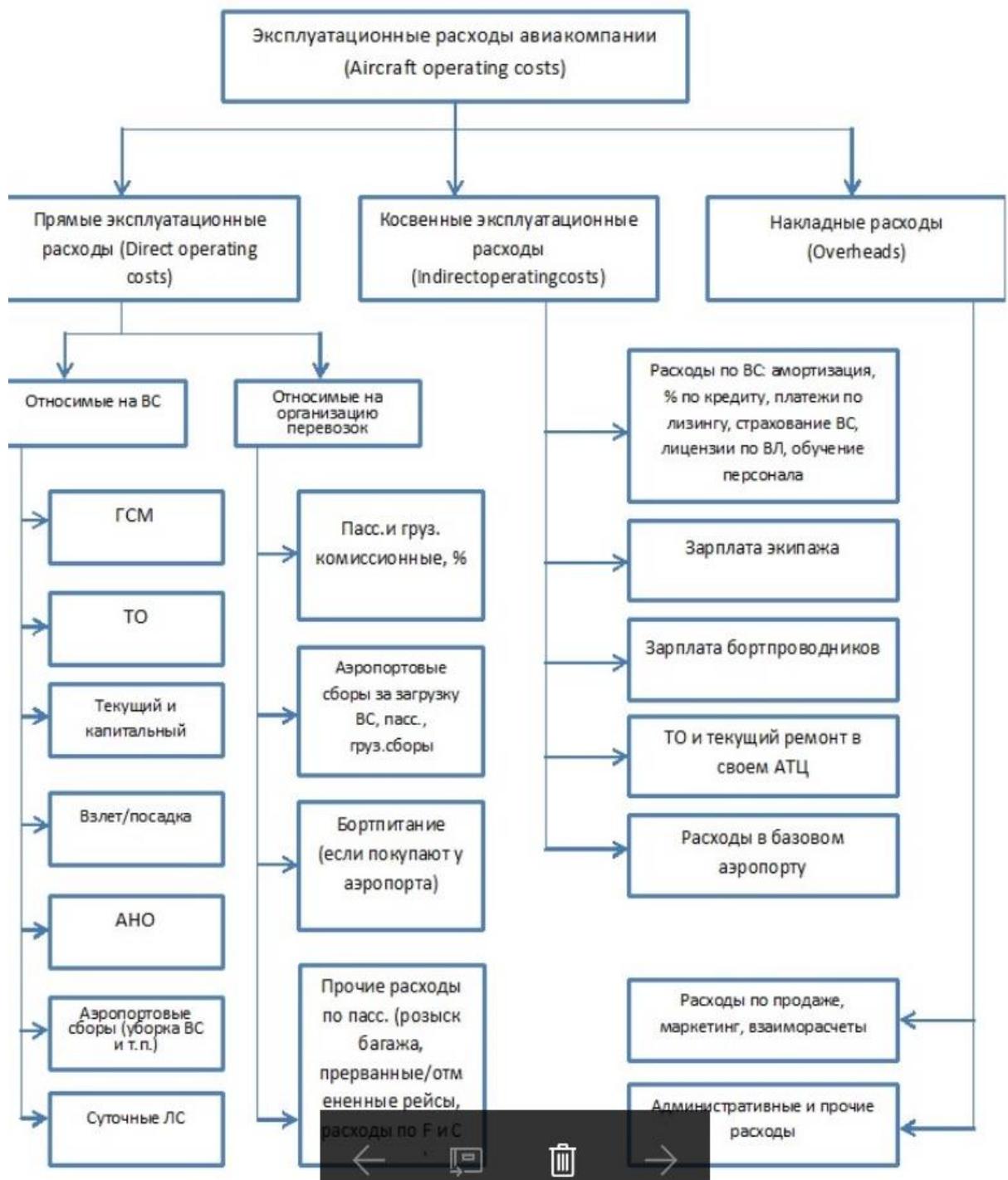


Рис. 1. Классификация IATA эксплуатационных расходов авиакомпании

Принцип оценки эффективности рейса или авиалинии по степеням покрытия представлен в таблице 3.

Таблица 3. Оценка эффективности рейса по степеням покрытия

Показатель	Расчет по рейсу
Доходы	Д
Расходы	Р
1. Прямые переменные расходы	$C1 = 1 + 2$
1.1. Расходы, связанные с пассажирами	1
1.2. Расходы, связанные с полетом	2
<b>Сумма покрытия 1</b>	<b><math>СП1 = Д - C1</math></b>
2. Прямые постоянные расходы, связанные, с ВС и летно-техническим составом	$C2$
<b>Сумма покрытия 2</b>	<b><math>СП2 = СП1 - C2</math></b>
3. Косвенные расходы	
3.1. Прочие производственные и накладные расходы	$C3$
<b>Сумма покрытия 3</b>	<b><math>СП3 = СП2 - C3</math></b>
3.2. Административные расходы	А
Общая сумма расходов	$P = C1 + C2 + C3 + A$
Результат (прибыль/убыток)	$\Pi = Д - P$

Он сводится к следующему: СП 1 (сумма покрытия 1) – представляет собой величину, полученную путем вычитания из общей суммы доходов прямых переменных расходов. Данная величина показывает, какой объем доходов остается в авиакомпании для покрытия прямых и постоянных и косвенных затрат, которые характеризуют все подготовительные этапы перевозки, после оплаты расходов, связанных с выполнением непосредственно самой авиаперевозки (полетом ВС, перемещением коммерческой загрузки);

СП 2 (сумма покрытия 2) - представляет собой величину, полученную от вычитания из суммы доходов, оставшейся после оплаты прямых переменных расходов (СП1), прямых постоянных затрат, связанных с содержанием ВС, летного состава и бортпроводников. Данная величина показывает, какой объем доходов остается в авиакомпании для покрытия косвенных затрат после оплаты всех прямых эксплуатационных расходов;

СП 3 (сумма покрытия 3) - представляет собой величину, полученную от вычитания из суммы доходов, оставшейся после оплаты всех прямых расходов, прочих производственных затрат, связанных с пред- и послеполетным обслуживанием ВС и пассажиров, проведением коммерческих мероприятий по привлечению клиентов, осуществлением продажи перевозки и т.д. Данная величина показывает, какой объем доходов остается в авиакомпании после оплаты всех расходов, связанных с процессом подготовки и выполнения авиаперевозки.

Такой подход к оценке эффективности рейса или авиалинии в целом позволяет более точно оценить затраты по каждой составляющей затрат, и не всегда принимать решение только по конечному результату [2].

## **Практическая значимость**

Эффективное управление затратами в современном авиапредприятии требует не только научно-обоснованной классификации затрат, но и внедрения действенных методов управления затратами. Помочь с выбором подходящего метода или совокупности методов может проанализированная авторами в данной статье таблица преимуществ и недостатков десяти основных методов управления затратами.

## **Заключение**

Итак, подведем итоги. Предприятия вправе применить смешанную модель управления затратами, что в свою очередь даст возможность внедрить лучшие качества выбранных методов, и достичь наивысшего экономического результата – максимальной прибыли.

Основным критерием оценки эффективности воздушной перевозки для авиакомпаний является себестоимость. Затраты авиакомпании, входящие в состав себестоимости имеют принципиальные особенности, поэтому вопрос калькулирования себестоимости в ГА изучается отдельно от любой другой отрасли. Руководящие органы ГА РФ утверждают разработанные методики и рекомендаций по расчёту себестоимости. На сегодняшний день описаны четыре основные методики. Для достижения своих конкретных потребностей, авиакомпании могут выбирать подходящие под необходимые условия различные практики и методики калькулирования себестоимости авиаперевозок.

## **Библиографический список**

1. Костромина Е. В. Авиатранспортный маркетинг: Учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 360 с.
1. Никонова Л. П., Назаренко Т. В. Экономика гражданской авиации: учеб. пособие. // Под ред. Н. И. Степановой. – М.: МГТУ ГА, 2014. – 116 с.
2. Степанова Н. И., Сакульева Т. Н. Управленческий учет в авиапредприятиях. Часть 1: Учебное пособие. - М.: МГТУ ГА, 2006. – 80 с.
3. Гончарова Э. А. Управление затратами и результатами деятельности предприятия: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2012. – 82 с.
4. Чувашлова М. В. Внедрение контроллинга в систему управления предприятием авиационной промышленности: монография. – М.: РАЕ, 2013. – 322 с.

## References

1. Kostromina E. V. *Air Transport Marketing*. Moscow, INFRA-M, 2015, 360 p. (in Russian).
2. Nikonova L. P. & Nazarenko, T. V. *The Economics of Civil Aviation*. Moscow, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 2014, 116 p. (in Russian).
3. Stepanova N. I. & Sakuleva T. N. *Management Accounting in Aviation Enterprise*. Moscow, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 2006, 80 p. (in Russian).
4. Goncharova, E. A. *Cost Management and Results of Enterprise's Activity*. St. Petersburg, Saint-Petersburg State University of Finance and Economics, 2012, 82 p. (in Russian).
5. Chuvashlova M. V. *The Implementation of Controlling into The Management System of Aviation Industry*. Moscow, Russian Academy Of Natural Sciences 2013, 322 p. (in Russian).

### **Сведения об авторах:**

ТРЕГУБОВА Анастасия Михайловна, бортпроводник, ПАО «Аэрофлот» филиал в СПб  
E-mail: anastasia.tregubova@yandex.ru

ПРИВАЛОВ Николай Геннадьевич, д.э.н., проф. каф. Национальной экономики Санкт-Петербургского государственного экономического университета  
E-mail: ns-privalov@mail.ru

ПРИВАЛОВА Светлана Геннадиевна, к.э.н., доц. каф. Государственных и муниципальных финансов Санкт-Петербургского государственного экономического университета  
E-mail: ns-privalov@mail.ru

### **Information about authors:**

Anastasia M. TREGUBOVA, flight attendant, PJSC Aeroflot branch in St. Petersburg  
E-mail: anastasia.tregubova@yandex.ru

Nikolai G. PRIVALOV, Doctor of Economic Sciences, prof. Cafe. National Economy of the St. Petersburg State Economic University  
E-mail: ns-privalov@mail.ru

Svetlana G. PRIVALOVA, Candidate of Economic Sciences, Assoc. Cafe. State and municipal finances of the St. Petersburg State Economic University  
E-mail: privalova-sg@inbox.ru

С. А. Смирнов, О. Ю. Смирнова

Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГРУЗОВОГО МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

Дата поступления: 23.03.2017

Решение о публикации: 27.03.2017

Дата публикации: 31.03.2017

**Аннотация:** В статье рассматриваются направления использования магнитолевитационной технологии (маглев) в мире, оцениваются преимущества внедрения маглева в транспортную сферу по видам движения.

**Введение:** Грузовой магнитолевитационный транспорт пока не нашел широкого применения в мировой практике организации перевозок. Подавляющее большинство проектов, связанных с магнитной левитацией, направлены на организацию пассажирских перевозок. В Европе, Азии и Америке разрабатываются и внедряются технологии, позволяющие осуществлять перевозку пассажиров на высокоскоростных, скоростных и городских линиях. Высокие эксплуатационные и экономические характеристики магнитолевитационного транспорта позволяют ему конкурировать с железнодорожным транспортом во всех сегментах пассажирских перевозок – от высокоскоростных до пригородно-городских.

**Анализ:** В последнее время растет уверенность в способности маглева кардинально изменить и ландшафт транспортной логистики до неузнаваемости, что вызвано целым рядом предпосылок. Во-первых, перспективным ростом объемов товарооборота между странами Западной Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона, в результате чего возникает необходимость в создании устойчивого транспортного коридора, который, аналогично Шелковому пути, соединял бы эти два достаточно удаленных друг от друга региона. Магнитолевитационный транспорт способен перевозить массовые грузы в 3-5 раз быстрее железнодорожного, который в настоящее время наряду с морским является основным в перевозках массовых грузов (Транссибирская магистраль – доставка грузов до 21 дня; морской маршрут Deep Sea – 30-35 суток; Северный морской путь – 25-35 дней). Во-вторых, необходимостью в снижении транзакционных издержек, связанных с замораживанием оборотного капитала в товарах в пути, что, в свою очередь, существенно увеличивает народнохозяйственные затраты.

**Результаты:** Очевидными экономическими преимуществами грузового маглева перед традиционным железнодорожным транспортом, согласно проведенным расчетам, выступают следующие: экономия затрат на строительстве инфраструктуры; устойчивость функционирования магистрали; энергоэффективность; скорость доставки грузов; окупаемость и коммерческая выгода; сторонние эффекты, возникающие в результате функционирования грузового маглева.

**Выводы:** Сегодня, когда в мировой экономике отмечаются кризисные явления и происходит пересмотр базовых экономических представлений, есть твердая уверенность

в том, что новая экономическая модель должна опираться на минимизацию транзакционных издержек на всех стадиях производства и потребления, чему в большой мере будет способствовать формирование новой концепции логистики, основанной на кардинальном ускорении движения товаров различной номенклатуры с использованием магистральных грузовых магнитолевитационных линий.

**Ключевые слова:** Магнитолевитационный транспорт, пассажирские перевозки, грузовая магнитолевитационная магистраль, рост объемов межстранового товарооборота, Западная Европа, Азиатско-Тихоокеанский регион, экономические преимущества грузового магнитолевитационного транспорта перед традиционным железнодорожным транспортом

**Sergei A. Smirnov, Olga Yu. Smirnova**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

ECONOMIC FEATURES OF FREIGHT MAGLEV TRANSPORT

**Abstract:** In the article considered the implementations of magnetic levitation technology (maglev) in the world, evaluated the advantages of implementation the maglev for all types of transportation.

**Introduction:** Freight maglev transport is not implemented widely in the world transportation market yet. The most projects in the area of magnetic levitation are focused on passenger transportation. European, Asian and American specialists research, develop and implement technologies, which allow passenger transportation at highspeed, highspeed and urban lines. Excellent operation and economics characteristics allow maglev to compete with railway transport in all areas: from highspeed to urban.

**Analysis:** There is the evidence that freight maglev has an opportunity to change the transport logistics market radically in the nearest future. We consider the following approaches to provide it. The first, and main, approach is supposed growth of commodities circulation between Western Europe and South East Asian countries. It requires the stable transport corridor, like The Silk Road, connecting these wide apart regions. Maglev transport has an ability to transport mass cargo 3-5 times faster than railway transport or sea transport, which are the main transport modes for mass cargo transportation. Today there are 2 main transport corridors, which connect Western Europe and South East Asia: Deep Sea and Transsib. Transportation via Deep Sea takes 30-35 days (via alternative Northern Sea Route it is 25-35 days), and via Transsib it is up to 21 days. The second approach is that the demand in reducing the transaction costs caused by freezing of the floating capital in 'goods in route' that eventually influences all the areas of national economy.

**Results:** The obvious economic advantages of freight maglev in comparison with conventional railway transport, accordingly to the calculations, are: capital expenses saving on the stage of infrastructure construction; operations sustainability; energy efficiency; freight transportation speed; investments recoument and profitability; side effects appearing during operating of freight maglev.

**Conclusions:** Today, as the world economics shows some crisis developments the basic economics notations are being revised. There is a strong belief that new economics model should be based on decreasing the transaction costs on all stages of production and consumption. The new logistic concept will be focused on increasing the speed of transportation with a use of freight maglev mainlines.

**Keywords:** maglev transport, passenger transportation, freight maglev mainline, growth of international trading volumes, Western Europe, Asia-Pacific Region, economic advantages of freight maglev in comparison with conventional railway transport

## Введение

Разработки в области магнитной левитации осуществляются с начала XX века. Значительный объем научных достижений принадлежал СССР, который в 60-е годы XX века был одним из мировых лидеров в разработке магнитолевитационных систем. Практическое применение явления магнитной левитации в настоящее время разнообразно: в микро- и нанотехнологиях, при производстве определенного оборудования и приборов, в транспортной отрасли. Ввиду усложнения технико-технологического уровня общества и появления возможностей реализации в транспортной сфере науко- и капиталоемких проектов становится актуальным и перспективным частичный переход к использованию магнитолевитационных поездов – «транспорту будущего» [4, 5].

## Анализ

Изыскания по развитию и коммерциализации магнитолевитационной технологии (далее – маглев) проводятся в США, Канаде, Великобритании, Австралии, Бразилии, а также в странах Персидского залива. В ряде стран мира (табл. 2.1) уже функционируют маглев-линии, предназначенные только для перевозки пассажиров, и планируется значительное увеличение их протяженности.

Таблица 2.1. Использование магнитолевитационного транспорта в пассажирском движении в странах мира

№ п/п	Страна	Название технологии	Тип Маглева	Маршрут курсирования	Длина, км	Скорость, км/ч
1	Китай	Transrapid	высокоскоростной	Шанхай – аэропорт Пудун	30	до 430
2	Япония	Maglev	городской	Префектура Айти (линия Линомо)	9	до 100
3	Южная Корея	Rotem	городской	Аэропорт Инчхон - база отдыха Yongyoo-Mui	6,1	до 110

Так, в Японии принята соответствующая долгосрочная программа строительства и уже началась ее реализация. В Китае на основе достижений немецких ученых в развитии технологии «Transrapid», нашедшей свое

коммерческое применение в Шанхае, производятся уже собственно китайские научно-технические изыскания, нацеленные на создание маглев-линий, в том числе и в трубе с техническим вакуумом [5, 8].

Маглев-технология в сфере пассажирских перевозок предполагается в трех вариантах:

- 1) городской Маглев (до 110 км/ч);
- 2) высокоскоростной (до 200 км/ч). В целях снижения аэродинамического сопротивления для высокоскоростной системы Маглев возможно оборудование инфраструктуры вакуумной трубой. При таком варианте возможно достижение скорости движения до 1000-1100 км/ч;
- 3) сверхскоростной (свыше 550 км/ч).

Высокие эксплуатационные и экономические характеристики магнитолевитационного транспорта позволяют ему конкурировать с железнодорожным транспортом во всех сегментах пассажирских перевозок – от высокоскоростных до пригородно-городских. Требуемый объем энергозатрат при эксплуатации «поездов будущего» вдвое меньше затрат на авиационном транспорте в расчете на 1 пасс.-км. При этом в результате испытаний выявлено, что японские «Maglev»-поезда в тестовом режиме способны развивать скорость движения свыше 600 км/ч, в процессе эксплуатации планируются скорости до 505 км/ч.

Магнитолевитационный транспорт, предназначенный для перемещения грузов, не нашел широкого применения, в частности, ввиду новизны технологии. Грузовые Маглев-перевозки предполагались в порту Лос-Анджелеса (США): спроектированная линия длиной 7,5 км способна перевозить от терминала к складским комплексам 5 000 контейнеров в сутки (по 2 500 в каждом направлении) со скоростью 145 км/ч. При случае реализации данного проекта, по оценкам американских специалистов, возможно снижение числа требуемых в порту грузовых автомобилей более чем на 1 млн. в год.

Существующая в транспортной логистике ситуация может в самое ближайшее время кардинально повлиять на текущую структуру грузовых перевозок по видам транспорта, в том числе в пользу внедрения грузовых Маглев-поездов. Для этого имеется целый ряд предпосылок.

Первая, и главная, предпосылка – это перспективный рост объемов товарооборота между странами Западной Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона. Продукция из Китая и стран Юго-Восточной Азии наполняет европейские рынки, успешно конкурирует с местной продукцией; множество транснациональных корпораций разместили производства в странах Юго-Восточной Азии, откуда доставляют свою продукцию на традиционные рынки. В результате этого возникает необходимость в создании устойчивого транспортного коридора, который, аналогично Шелковому пути, соединял бы эти два значительно удаленных друг от друга региона и осуществлял перемещение грузов за максимально

короткое время. В настоящий момент Западную Европу и Юго-Восточную Азию связывают два основных коридора: морской маршрут Deep Sea (время доставки грузов составляет 30-35 суток; по альтернативному Северному морскому пути 25-35 дней) и Транссибирская магистраль (время доставки грузов до 21 суток). Очевидно, что осуществление массовых грузовых перевозок возможно только с использованием морского или железнодорожного транспорта, при этом на огромных расстояниях скорость доставки продукции исчисляется неделями. Альтернативный вид транспорта – магнитолевитационный – перевозит массовые грузы в 3-5 раз быстрее железнодорожного, что является его несомненным преимуществом.

Из первой предпосылки логично вытекает вторая, чисто экономическая предпосылка – потребность в снижении транзакционных издержек, связанных с замораживанием оборотного капитала в товарах в пути. В это время товар оплачен одной из сторон – продавцом или покупателем. На протяжении всего периода доставки груза средства, которыми был оплачен данный товар, не приносят прибыль, что нарушает базовый постулат финансового менеджмента об эффективном использовании денежных средств. Таким образом, возникает упущенная выгода (в случае, если товар оплачен за счет собственных средств) или расходы (если товар оплачен за счет кредитных средств). В цикле «производство – распределение – обмен – потребление» вторая стадия оказывается расширенной по срокам и замедляющей оборот товарно-денежной массы по содержанию. Возникающие таким образом транзакционные (т.е. непроизводительные) издержки компенсируются удорожанием продукции для конечного потребителя. Именно удорожание конечного продукта нивелирует негативные эффекты для продавцов и покупателей конечной продукции. Данная картина справедлива для экспортно-импортных перевозок.

Все вышеописанное существенно увеличивает народнохозяйственные затраты, а также ведет к негативным последствиям. Во-первых, к завышению уровня цен как на потребительские товары, так и на продукцию промышленности, сферы строительства, остальных отраслей экономики. Во-вторых, к снижению инвестиционных возможностей компаний, что связано с тем, что средства, вложенные в товар в пути или в содержание подвижного состава, недоинвестированы в экономику (в частности, это касается инфраструктурных проектов).

## **Результаты**

Проведенные расчеты показали, что грузовой магнитолевитационный транспорт имеет экономические преимущества перед традиционным железнодорожным транспортом:

1) Стоимость строительства инфраструктуры. Стоимость строительства маглев-линий в ряде случаев может превышать аналогичный показатель для отрасли железнодорожного транспорта. Но при осуществлении корректного сравнения необходимо принимать во внимание такую немаловажную деталь, особенно актуальную для европейских стран, как площадь земельной полосы отвода. Эстакадное исполнение магнитолевитационной магистрали позволяет использовать в 2,78 раз меньшую по сравнению с железной дорогой полосу отвода, что существенно расширяет возможности прокладки маглев-линии. Благодаря этому достигается существенная экономия денежных средств на выкуп земель под полосу отвода, снижаются земельные платежи в составе операционных расходов в процессе эксплуатации линии [9, 16].

2) Устойчивость функционирования грузовой магистрали. Магнитолевитационный транспорт имеет дружественный контакт с инфраструктурой, его обслуживание не требует таких значительных объемов ремонта, как железнодорожная магистраль, что повышает устойчивость его работы и, следовательно, доставки грузов. Для сравнения, по действующим нормативам на десятилетнем цикле обслуживания грузонапряженной железнодорожной магистрали требуется проведение двух капитальных и трех средних ремонтов, на время проведения которых разрабатываются альтернативные маршруты обхода ремонтируемых участков. Маглев-линия не требует аналогичных видов ремонта на гораздо более длительном временном отрезке.

3) Энергоэффективность. Грузовой маглев обладает высокой энергоэффективностью: даже на скоростях, в 2-4 раза превышающих скорость грузового поезда, потребляет в несколько раз меньше электрической энергии, а также практически не оказывает негативного влияния на экологическую обстановку [1].

4) Скорость доставки грузов. Вследствие того, что в пути груз может провести вместо недель считанные часы, существенным образом расширяется номенклатура перевозимых товаров. В их число входят, например, скоропортящиеся продукты. В результате для конечных потребителей возрастает привлекательность создания грузовых магнитолевитационных магистралей.

5) Экономическая эффективность грузовой магнитолевитационной – окупаемость и коммерческая выгода [11].

6) Сторонние эффекты, возникающие в результате функционирования грузового маглева и заключающиеся в развитии производства его компонентов, в совершенствовании технологий производства продукции смежных отраслей промышленности. Таким образом, на народнохозяйственном уровне будут проявляться существенные эффекты при развитии прикладных исследований и технологий производства, что неизбежно повлечет за собой

общеэкономический рост с соответствующим созданием инновационных рабочих мест, увеличением валового внутреннего продукта [2, 7].

Реализация проектов в сфере грузового магнитолевитационного транспорта открывает новые возможности для создания межконтинентальных наземных магистралей (Азиатско-Тихоокеанский регион – Европа; Европа – Америка через Берингов пролив и Панамский канал; Европа – Ближний Восток и Африка), для решения проблемы длительных сроков доставки грузов и высокой транспортной составляющей в себестоимости продукции, причем на совершенно новом технологическом, экономическом, политическом уровнях, для появления целого ряда новых технологических направлений в области энергетики, сверхпроводимости, криогеники, способных улучшить экологическую ситуацию, повысить эффективность и безопасность перевозок.

Кратчайшее соединение стран Южной и Юго-Восточной Азии со странами Европы через евразийский континент возможно по территории Российской Федерации. В результате Россия получит дополнительную доходную статью бюджета в виде экспорта транспортных услуг за счет привлечения транзитного грузового потока между странами Азиатско-Тихоокеанского региона и Европейского союза, мощный толчок к развитию смежных отраслей народного хозяйства, предпосылки к реальному переходу на инновационный вариант развития транспортной отрасли [10, 12].

Инновационный вариант развития транспортной системы характеризуется значительным повышением расходов на инфраструктуру (инвестированием в высокотехнологичные проекты), переходом к экологичности и энергоэффективности развития транспорта и изменением структуры используемых топливно-энергетических ресурсов. Реализация инновационного варианта развития транспортной системы позволит России значительно повысить конкурентоспособность отечественных товаров и услуг на мировых рынках. За счет опережающего роста высокотехнологичных и ряда других секторов экономики при дальнейшем увеличении объемов перевозок грузов доля транспорта в структуре добавленной стоимости сократится с 6,2% в 2010 г. до 4-4,5% внутреннего валового продукта в 2030 г., что означает относительное снижение транспортных издержек [3, 6].

## **Выводы**

Сегодня, когда в мировой экономике отмечаются кризисные явления и происходит пересмотр базовых экономических представлений, есть твердая уверенность в том, что новая экономическая модель должна опираться на минимизацию транзакционных издержек на всех стадиях производства и потребления, чему в большой мере будет способствовать

формирование новой концепции логистики, основанной на кардинальном ускорении движения товаров различной номенклатуры с использованием магистральных грузовых магнитолевитационных линий.

Внедрение инновационной транспортной технологии на основе магнитной левитации позволит Российской Федерации:

1) радикально повысить безопасность грузовых перевозок по своей территории;

2) кардинально увеличить коммерческую скорость продвижения грузов (контейнерные перевозки) – до 800-1700 км/сутки;

3) повысить надежность, эффективность и ритмичность перевозок за счет повышения автоматизации;

4) существенно снизить нагрузку на экологию за счет использования энергосберегающих технологий, снижения всех видов загрязнения;

5) снизить транспортную составляющую в себестоимости продукции и, как следствие, способствовать снижению общего уровня цен;

6) создать высокотехнологичные рабочие места;

7) радикально повысить производительность труда на транспорте, производительность транспортных систем (рост среднесуточных объемов перевозок пассажиров, грузов), фондоотдачу инфраструктуры транспорта;

8) создать условия для превращения России в ведущего мирового экспортера транспортных услуг – транзитера грузов [13, 15].

Помимо перечисленных прямых эффектов можно отметить ряд косвенных эффектов:

1) стимулирование интенсивного развития смежных отраслей и формирование мультипликативных эффектов в экономике страны за счет координации со стратегиями и программами развития смежных отраслей – поставщиков ресурсов для развития и функционирования магнитолевитационного транспорта;

2) стимулирование роста отраслей, использующих транспортные услуги, вследствие радикального повышения эффективности транспортной логистики, снижения потребности в складских запасах для гарантированного товарного производства;

3) развитие экономики удаленных регионов страны за счет кардинального ускорения грузоперевозок;

4) снижение издержек компаний, связанных с обслуживанием оборотного капитала, замороженного в «товарах в пути» [14].

### **Библиографический список**

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

2. Белозеров В. Л. Экономика транспорта: управление в рыночных условиях: монография / В. Л. Белозеров, А. Н. Ефанов, А. А. Зайцев и др.; под ред. О. В. Белого. – СПб.: Изд-во «Наука», 2014. – 204 с.

3. Голикова Ю. А. Корпорации России: состояние и перспективы развития / Ю. А. Голикова // Российское предпринимательство. – 2011. – № 5-1. – С. 46-51.

4. Зайцев А. А. Грузовая транспортная платформа на магнитолевитационной основе: опыт создания / А. А. Зайцев // Транспортные системы и технологии. – 2015. – Вып. 2(2). – С. 5–14. [Электронный ресурс]. Код доступа: <http://www.transssyst.ru/2razdel-1-1-zaitsev.html.html>

5. Зайцев А. А. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны: монография / А. А. Зайцев, Е. И. Морозова, Г. Н. Талашкин, Я. В. Соколова. – СПб.: Изд-во ООО «Типография «НП-Принт», 2015. – 140 с.

6. Зайцев А. А. Организационно-экономический механизм взаимодействия хозяйствующих субъектов и государственных структур / А. А. Зайцев, М. П. Акулов // Наука в современном информационном обществе: Материалы IV международной научно-практической конференции, North Charleston, USA, 28-29 августа 2014 г. – Научно-издательский центр «Академический», 2014. – С. 255-261.

7. Зайцев А. А. Современная нормативная база обеспечения безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта / А. А. Зайцев, В. В. Шматченко, П. А. Плеханов и др. // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 5 (60). – С. 60-63.

8. Зайцев А. А. Транспорт на магнитном подвесе / А. А. Зайцев, Г. Н. Талашкин, Я. В. Соколова; под ред. А. А. Зайцева. – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. – 160 с.

9. Зайцев А. А. Экономика инфраструктуры для высокоскоростного движения / А. А. Зайцев, Г. Н. Талашкин // Бюллетень результатов научных исследований. – 2013. – № 4.

10. Зайцев А. А. Эффект сверхпроводимости ускорит развитие экономики страны / А. А. Зайцев // Гудок. – 2015. – № 23. – С. 5.

11. Магнитолевитационный транспорт: научные проблемы и технические решения / Под ред. Ю. Ф. Антонова, А. А. Зайцева. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 612 с.

12. Миненко Д. О. Оценка перспектив организации скоростного и высокоскоростного движения поездов в России / Д. О. Миненко // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 128.

13. Опарин С. Г. Развитие теоретических основ экономической эффективности транспортного строительства в условиях саморегулирования / С. Г. Опарин, В. В. Чепель // Научно-технические

ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2014. – № 2 (192). – С. 21-30.

14. Палкина Е. С. Методологические принципы управления реализацией стратегии роста компании /Е. С. Палкина // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2015. – № 2 (30). – С. 78-86.

15. Соколова Я. В. Методы управления инновационным развитием пассажирской железнодорожной компании / Я. В. Соколова // Транспортное дело России. – 2014. – № 5. – С. 50-52.

16. Талашкин Г. Н. Научные основы проектирования несущих конструкций для магнитолевитационной магистрали / Г. Н. Талашкин // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии. МТСТ'14: Труды 2-й Международной научной конференции. Санкт-Петербург, 17-20 июня 2014 года / под ред. проф. Ю. Ф. Антонова, СПб, 17-20 июня 2014 г. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 144-148. – ISBN 978-5-00090-036-9.

## References

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

2. Belozеров V. L., Yefanov A. N., Zaytsev A. A. & Belyi O. V. Ekonomika transporta: upravlenye v rinochnikh usloviyakh [Transportation Economy: Management under Conditions of Market]. St. Petersburg, 2014. 204 p.

3. Golikova Yu. A. *Rossiyskoe predprinimatelstvo – Russian business*, 2011, no. 5-1, pp. 46–51.

4. Zaitsev A. A. *Transportnye sistemy i Tekhnologii – Transport Systems and Technologies*, 2015, no. 2 (2), pp. 5–15.

5. 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.

6. Zaitsev A. A. & Akulov M. P. Organizacionno-ehkonomicheskij mekhanizm vzaimodejstviya hozyajstvuyushchih sub"ektov i gosudarstvennyh struktur [Organizational-economic mechanism of interaction of economic entities and state structures] *Nauka v sovremennom obshestve: Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Science in the modern information society: Materials of IV international scientific-practical conference). North Charleston, USA, 2014. pp. 255–261.

7. Zaitsev A. A., Shmatchenko V. V., Plekhanov P. A. *Transport Rossiyskoj Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2015, no. 5 (60). pp. 60–63.

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

9. Zaitsev A. A. & Talashkin G. N. *Bulleten rezultatov nauchnyh issledovanij – Bulletin of research results*, 2013, no. 4.
10. Zaitsev A. A. *Gudok* [Buzzer], 2015, no. 23, p. 5.
11. Antonov Yu. F. & Zaytsev A. A. *Magnitolevitatsionnyj transport: nauchnye problemy i tehicheskie resheniya* [Magnetic levitation transport: scientific problems and technical solutions]. Moscow, 2015. 612 p.
12. Minenko D. O. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2015, no. 1-1. p. 128.
13. Oparin S. G. & Chepel V. V. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki – Scientific and technical lists of the St. Petersburg State Polytechnic University. Economic sciences*, 2014, no. 2 (192), pp. 21–30.
14. Palkina E. S. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika – Bulletin of Tomsk State University. Economy*, 2015, no. 2 (30), pp. 78–86.
15. Sokolova Ya. V. *Transportnoe delo v Rossii – Transport business in Russia*, 2014, no. 5, pp. 50–52.
16. Talashkin G. N. *Nauchnye osnovy proektirovaniya nesushchih konstrukcij dlya magnitolevitacionnoj magistrali* [Scientific fundamentals of the design of load-bearing structures for the magnetic field] *Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii” MTST'14* (Proceedings of the 2nd International scientific conference “Magnetocavitation transport systems and technologies” MTST'14). Kirov, 2014, pp. 144–148.

**Сведения об авторах:**

СМИРНОВ Сергей Александрович, старший научный сотрудник Научно-образовательного центра инновационного развития железнодорожных перевозок Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

E-mail: noc-pgups@yandex.ru

СМИРНОВА Ольга Юрьевна, научный сотрудник Научно-образовательного центра инновационного развития железнодорожных перевозок Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

E-mail: noc-pgups@yandex.ru

**Information about authors:**

Sergei A. SMIRNOV, senior researcher of the Scientific educational center of innovative development of railway transportation of Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

E-mail: noc-pgups@yandex.ru

Olga Yu. SMIRNOVA, research associate of the Scientific educational center of innovative development of railway transportation of Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

E-mail: noc-pgups@yandex.ru