

УДК 629.027:621.318.3

**А. В. Киреев, Н. М. Кожемяка, Г. Н. Кононов****ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ  
КОНТЕЙНЕРНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ**

Дата поступления 01.10.2017

Решение о публикации 26.10.2017

**Цель.** Исследовать возможности создания скоростной транспортной системы с магнитным подвесом для контейнерных перевозок по Евро-Азиатскому сухопутному мосту.

**Методы.** Используются методы ситуационного анализа, компьютерного моделирования, транспортной географии, технико-экономического анализа.

**Результаты.** Анализ ситуации на рынке транзитных контейнерных перевозок показал, что основным препятствием реализации транзитного потенциала России является ограниченная пропускная способность транспортных коридоров. Кардинальным решением проблемы может стать строительство новой высокоскоростной транспортной системы. Выявлены условия создания новой транспортной системы: использование транспортных возможностей Азово-Черноморского бассейна, обеспечение доступности северных территорий, разработка технических решений для создания транспортной системы с низкочастотной инфраструктурой. Разработана комбинированная тягово-левитационная система на основе предельно простого варианта линейного реактивного индукторного двигателя. Проведены экспериментальные исследования полнофункциональной физической модели транспортной платформы. Несмотря на большие первоначальные капиталовложения в путевую инфраструктуру, инвестиционный проект имеет положительную экономическую оценку.

**Практическая значимость.** Разработана компьютерная модель комбинированной тягово-левитационной системы на основе линейного реактивного индукторного двигателя. Предложена концепция построения новой транспортной системы с учетом характеристик предполагаемого полигона эксплуатации на слабо освоенных территориях. Предложен маршрут высокоскоростной трассы, связывающий Азово-Черноморского бассейн с побережьем Тихого океана, полностью проходящий по территории России, затрагивая северные регионы. Оценка транзитного потенциала показала, что за счет сокращения времени транзита можно привлечь на маршрут контейнерные грузы с объемом перевозок 1,52 млн в 20-футовом эквиваленте.

Контейнерный трафик, конвейерный контейнерный транспорт, грузовой поезд Маглев, транспортный коридор, линейный синхронный двигатель, высокотемпературная сверхпроводящая технология.

---

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57916X0132.

## Введение

Общей тенденцией развития мировой транспортной системы является ускорение транспортного процесса, достигаемое формированием транспортных коридоров, совершенствованием транспортно-логистической структуры перевозок, повышением скорости движения транспортных средств [1].

К 2000 г. сформировались работоспособные технические решения для высокоскоростного транспорта с магнитным подвесом. В частности, запущена первая коммерческая линия в Японии Tobu Kyuuryo Line [2], высокоскоростная транспортная система на магнитном подвесе Transrapid в Шанхае [3], транспортная система UMT в Южной Корее [4].

На начальном этапе, когда виды скоростного транспорта только появились, разработчики стремились продемонстрировать возможности новой технологии, установить рекорды скорости движения. В качестве основного критерия приняли маршрутную скорость, оставив в тени экономические и социальные эффекты.

При попытке довести проекты до конкурентоспособного вида выяснилось, что есть только два транспортных коридора, на которых можно обеспечить окупаемость системы магнитолевитационных транспортных систем (МЛТС): во Франции и в Японии. Они проходят через густонаселенные районы с очень плотным движением и были созданы до того, как начал преобладать автомобильный транспорт.

Идет интенсивный поиск локальных транспортных коридоров, обеспечивающих окупаемость системы. Известны многочисленные проекты внедрения МЛТС [5] в США, Великобритании, Германии, Японии, Китае, Иране, Индии и др. Созданы компании для развития МЛТС, например, The Northeast Maglev (TNEM), США, сотрудничающая с Central Japan Railway Company (JR Central, Япония) в вопросах внедрения SCMAGLEV в Соединенных Штатах; U.S. – Japan MAGLEV, работающая над внедрением японской высокоскоростной системы на основе сверхпроводящего эффекта компании JRC (SCMAGLEV) [6].

Таким образом, в мировой практике этот вид наземного транспорта до сих пор широко не используется из-за высоких затрат на строительство и недостаточно интенсивного пассажиропотока.

Развитие технологии высокотемпературной сверхпроводимости породило новые возможности для МЛТС. Это нашло отражение в книге James Powell «The Fight for Maglev: Making America the World Leader in 21st Century Transport» [7]. В ней предложена грузовая МЛТС, использующая эффект высокотемпературной сверхпроводимости. Наиболее привлекательной сферой грузовых перевозок являются контейнерные перевозки конвейерного типа [8].

Ранее в США фирма General Atomics создала транспортную грузовую платформу на магнитном подвесе для системы контейнерных перевозок конвейерного типа [9].

В настоящее время в России разрабатывается магнитолевитационная конвейерная линия, ориентированная на обработку контейнерных грузов в терминале порта Усть-Луга<sup>1</sup>. Проект реализуется на базе новой магнитолевитационной технологии «МагТранСити» [10].

Новое применения МЛТС в сфере грузовых перевозок требует переосмысления концепции их построения с учетом характеристик предполагаемого полигона эксплуатации.

В стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 г. особое внимание уделено транзитным контейнерным перевозкам [11]. Территория Российской Федерации является естественным мостом, связывающим Европу со странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Для реализации полного транзитного потенциала страны ставится задача повысить маршрутную скорость контейнерных поездов. В настоящее время транспортное пространство развивается, главным образом, за счет ликвидации разрывов и «узких мест» путем реконструкции и строительства отдельных участков транспортной сети. Основным проектом считается строительство скоростной железной дороги для ускоренной доставки контейнеров из Китая, Центральной и Восточной Азии в Европу – Трансъевразийской контейнерной магистрали. Такая магистраль позволит организовать контейнерные перевозки со скоростью 140–160 км/ч, увеличит провозную и пропускную способность Восточного полигона железных дорог России.

Идея создания Евразийского сухопутного моста с использованием технологии магнитного подвеса возникла давно [12], однако до настоящего времени не исследовалась возможность использования МЛТС для скоростных контейнерных перевозок по Евро-Азиатскому сухопутному мосту.

Цель нашей работы – исследовать возможность создания высокоскоростной транспортной системы с магнитным подвесом для контейнерных перевозок по Евро-Азиатскому сухопутному мосту.

## 1. Постановка задачи

Основные задачи данной работы:

- оценить ситуацию на рынке контейнерных перевозок;
- выявить факторы, определяющие условия создания новой транспортной системы;
- спрогнозировать объем контейнерных транзитных перевозок новой высокоскоростной транспортной системы;
- выявить факторы, определяющие маршрут трассы;

---

<sup>1</sup> <http://port-ustluga.ru/en>.

- исследовать технические решения, обеспечивающие реализацию проекта;
- оценить эффективность инвестиционного проекта.

## 2. Материалы и методы исследования

Основные источники информации, использованные при подготовке: транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года<sup>1</sup>, обзор морского транспорта (периодического издания ЮНКТАД)<sup>2</sup>, доклад Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН) по Евро-Азиатским транспортным связям<sup>3</sup>, материалы Комитета по внутреннему транспорту (КВТ) ЕЭК ООН<sup>4</sup>, материалы Координационного совета по Транссибирским перевозкам (КСТП)<sup>5</sup>, информация операторов контейнерных поездов Китай – Европа – РЖД<sup>6</sup>, Транс Контейнер<sup>7</sup>, DB Schenker<sup>8</sup>, Far East Landing Bridge (FELB)<sup>9</sup>.

В качестве исследовательского инструментария использованы методы ситуационного анализа, компьютерного моделирования, транспортной географии, технико-экономического анализа.

## 3. Результаты

### 3.1. Оценка ситуации на рынке контейнерных перевозок

Сегодня основная часть грузов, доставляемых из Азии в Европу и обратно, перевозится морским транспортом, с этим связан резкий рост контейнерного грузооборота между двумя континентами. Второе место по стоимости обслуживаемых поставок занимает воздушный транспорт, а замыкают список железные дороги.

Из-за того, что в схеме доставки грузов преобладает морской транспорт, постепенно исчерпывается резерв пропускной способности североевропейских портов. В связи с этим многие логистические компании в Европе и Азии начали все чаще использовать для транспортировки товаров на европейский рынок порты южного Средиземноморья. При поставках через южную Европу крупные морские суда, следующие из Азии, проводят в пути на три-четыре дня меньше. В современных условиях существующая

---

<sup>1</sup> <https://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION>.

<sup>2</sup> [http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2014\\_ru.pdf](http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2014_ru.pdf).

<sup>3</sup> [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/eatl/docs/EATL\\_Report\\_Phase\\_II-Ru.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/eatl/docs/EATL_Report_Phase_II-Ru.pdf).

<sup>4</sup> <http://www.unece.org/trans/main/eatl.html>.

<sup>5</sup> <http://icctt.com/transsib>.

<sup>6</sup> [www.rzdlog.com](http://www.rzdlog.com).

<sup>7</sup> [www.trcont.ru](http://www.trcont.ru).

<sup>8</sup> <https://www.dbschenker.com>.

<sup>9</sup> [www.felb.world](http://www.felb.world).

пропускная способность портов становится недостаточной, и некоторые из них уже приближаются к предельному объему грузооборота.

Самая большая проблема Евро-Азиатского морского транспорта – очень продолжительное время перевозки.

Альтернативой морскому транспорту являются наземные перевозки, способные удовлетворить значительную часть ожидаемого в будущем дополнительного спроса на транспортные услуги. Расстояние по суше между Европой и Азией, как правило, короче расстояния по морю, особенно если пункты отправки и назначения груза лежат в глубине обоих континентов.

Железнодорожное сообщение становится оптимальным способом обеспечения связи портов с внутренними районами материка. Эффективная эксплуатация таких железнодорожных маршрутов, как Транссибирская магистраль<sup>1</sup> и северный Трансазиатский коридор<sup>2</sup> через территорию Китая, позволит создать весомую дополнительную провозную способность и сформировать нишевой спрос на ускоренные перевозки [13].

Сегодня маршрутная скорость контейнерных поездов по Транссибу составляет 1550 км/сут. Это достигнуто в основном за счет повышения маршрутной скорости путем сокращения количества и продолжительности технологических операций с поездными формированиями, что, несомненно, повышает конкурентоспособность данного вида перевозок. В то же время стремление к достижению максимально возможной технической скорости ограничивается потерями остальной части грузового движения по Транссибу.

Следующий вопрос связан с объемом перевозок. В директивных документах Российской Федерации, касающихся транспортной стратегии, заявленный объем транзитных перевозок по Транссибирской магистрали в 2030 г. должен составить 1,44 млн двадцатифутового эквивалента (ДФЭ). Однако главной проблемой планов увеличения транзитного потока грузов является пропускная способность Транссибирской магистрали. После реконструкции магистрали к 2018 г. совокупная пропускная способность составит 185 млн т в год. При этом доля контейнерного транзита может возрасти до 0,5 млн ДФЭ, что явно недостаточно для освоения планируемых объемов перевозок.

Оценка транзитного потенциала Российской Федерации в отношении товаропотоков между Азией и Европейским союзом показывает, что за счет сокращения времени транзита на 25–30 % можно привлечь грузы с морского пути. При этом общая доля сухопутного евразийского транспорта может быть увеличена с 1,9 до 18,5 %. В табл. 1 приведены данные прогноза распределения объемов контейнерного транзита между коридорами.

---

<sup>1</sup> <http://www.transsib.ru/cat-geo.htm>.

<sup>2</sup> [http://www.unescap.org/sites/default/files/tarsc-fulltext\\_1980.pdf](http://www.unescap.org/sites/default/files/tarsc-fulltext_1980.pdf).

Таблица 1

**Распределение объемов контейнерных перевозок между транспортными коридорами, %**

Транспортный коридор	2020 год
Транссибирская железная дорога	8,1
Северный Трансазиатский коридор	6,0
Маршрут через Суэцкий канал	81,5
Прочие маршруты	4,4
Итого	100

Полагая, что среднегодовой прирост объема перевозок Трансиба составит 5,6 %, и используя данные о морских контейнерных перевозках из Азии в Европу в 2016 г. (15,3 млн ДФЭ)<sup>1</sup>, можно вычислить ожидаемый объем перевозок по Транссибу в 2020 г. Он может составить 1,52 млн ДФЭ. Таким образом, прогнозируемый объем транзитных контейнерных перевозок существенно превышает заявленные директивные показатели.

Кардинальным решением проблемы может стать строительство новой скоростной транспортной системы со скоростью передвижения контейнерных грузов не менее 2500 км/сут. Это совпадает с выводами Европейской экономической комиссии. Так, в докладе «Евро-Азиатские транспортные связи» отмечено, что существует потребность в диверсификации нынешних и в открытии новых альтернативных маршрутов между Европой и Азией и в дальнейшем развитии транссибирского сообщения.

Новая транспортная система поможет увеличить пропускную способность железных дорог для грузовых перевозок, будет способствовать прямому бесперегрузочному сообщению между Европой и Азией, а при соответствующей прокладке маршрута может обеспечить доступность транспортных услуг по перевозке грузов в районах Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока и в удаленных регионах России.

### 3.2. Факторы, определяющие условия создания новой транспортной системы

#### 3.2.1. Предполагаемый маршрут трассы

*Геополитический фактор.* В складывающихся геополитических реалиях целесообразно рассмотреть вопрос стратегического использования Россией транспортных возможностей Азово-Черноморского бассейна в долгосрочном периоде [14]. Кроме того, для снижения политических рисков желатель-

<sup>1</sup> World Maritime Review, 2016.

но, чтобы маршрут был проложен по территории одной страны с начальными пунктами на Тихоокеанском побережье России и с конечными пунктами в крупных логистических центрах Азово-Черноморского бассейна.

*Фактор транспортной доступности северных территорий.* Стратегически необходимо приоритетное строительство новых линий большой протяженности в малоосвоенных северных регионах Российской Федерации в широтном направлении севернее Транссиба и БАМа, где находятся перспективные месторождения полезных ископаемых [15].

*Технико-экономический фактор.* Из-за больших расстояний и высокой удельной стоимости эстакадного путепровода МЛТС необходимо при выборе трассы реализовать концепцию минимального расстояния. Эстакадный путепровод МЛТС, в отличие от железных дорог, не требует расчистки тайги, выравнивания грунта, обхода естественных наземных препятствий. Обеспечивается гибкое включение путевой структуры в ландшафт, что создает предпосылки для спрямления трассы.

С учетом основных факторов, определяющих предполагаемый маршрут трассы, можно наметить следующий маршрут: начальный пункт – на Тихоокеанском побережье, конечный пункт – один из портов Азово-Черноморского бассейна. Южные порты России находятся на пересечении мировых торговых путей, через них проходят несколько транспортных коридоров, кроме того, это наиболее короткий путь от крупнейших промышленных центров России в Европу, страны Ближнего Востока, Азии.

В качестве начального пункта маршрута на тихоокеанском побережье можно выбрать морской порт Ванино<sup>1</sup> (рис. 1а). Это – транспортный узел, связывающий воедино железнодорожный, морской и автомобильный пути сообщения. Через Ванино поставляются грузы в северо-восточные регионы России, в Японию, Южную Корею, Китай, Австралию, США и другие страны. Выгодное географическое расположение порта открывает выход к морю грузам, идущим по Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожным магистралям.

Конечный пункт целесообразно выбрать в районе Таманского полуострова, так как в соответствии со «Стратегией развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года»<sup>2</sup> предполагается существенно увеличить грузооборот морских портов Азово-Черноморского бассейна за счет строительства нового морского порта Тамань<sup>3</sup> суммарной мощностью к 2030 г. более 100 млн т в год. Предполагаемое местоположение порта – район мыса Панагия (рис 1б), расположенного на юго-западе Таманского полуострова Ближайший железнодорожный узел – город Крымск.

---

<sup>1</sup> <http://www.vaninoport.ru>.

<sup>2</sup> [http://www.rosmorport.ru/media/File/State-private\\_Partnership/strategy\\_2030.pdf](http://www.rosmorport.ru/media/File/State-private_Partnership/strategy_2030.pdf).

<sup>3</sup> <http://taman-seaport.ru>.

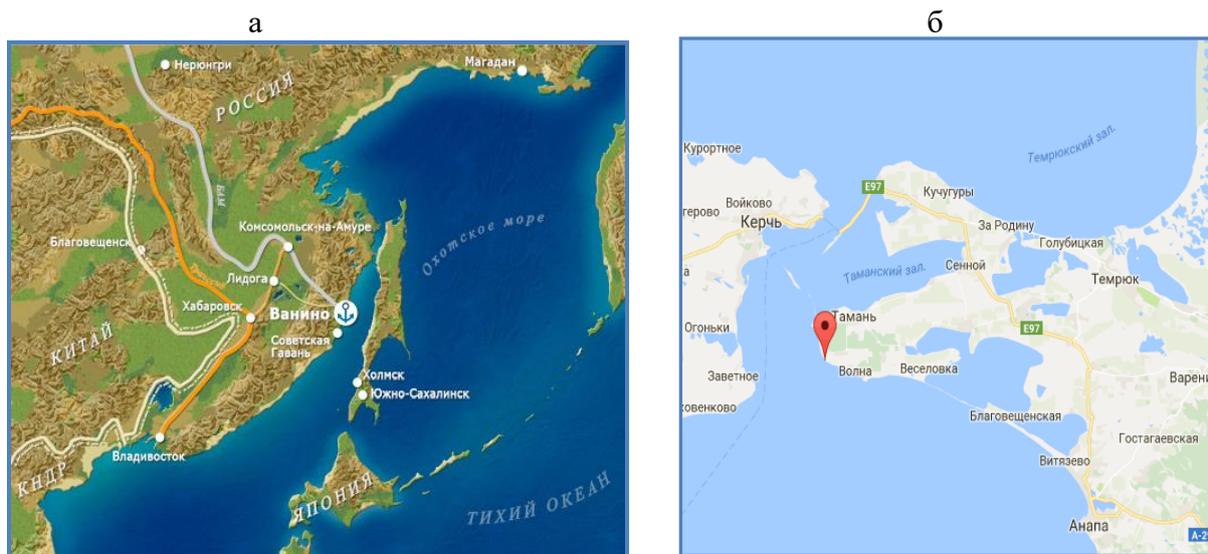


Рис. 1. Географическое положение начального (а) и конечного (б) пунктов маршрута

На рис. 2 показан предполагаемый маршрут высокоскоростной трассы МЛТС.

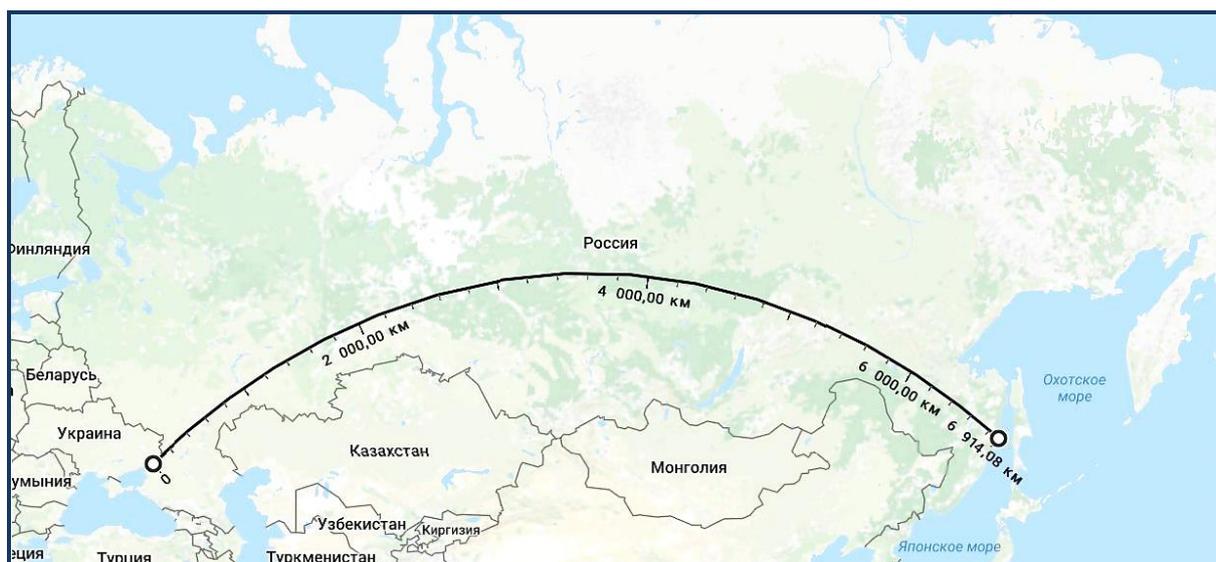


Рис. 2. Маршрут высокоскоростной трассы МЛТС

Предполагаемый маршрут трассы МЛТС характеризуется весьма большой протяженностью (около 7 тыс. км), потенциально имеет значительную полосу варьирования, ширина которой может составлять нескольких сотен километров в зависимости от особенностей рельефа местности, инженерно-геологических условий, местоположения благоприятных створов пересечения крупных рек, а также от сейсмических и других неблагоприятных условий на участках направления магистрали.

Маршрут учитывает ключевые факторы: связывает Азово-Черноморский бассейн с побережьем Тихого океана, полностью проходит по территории Российской Федерации, затрагивая северные территории (до 60 ° с. ш.), а его протяженность на 25 % короче протяженности имеющихся маршрутов.

### 3.2.2. Техническая реализация транспортной системы

Необходимость создания высокоскоростных грузовых транспортных систем, имеющих обособленный путь с эстакадной прокладкой, вынуждает искать технические решения, позволяющие снизить затраты на создание и эксплуатацию МЛТС.

Предполагаемая трасса проходит через удаленные малообжитые труднодоступные районы (водные преграды, горные хребты, заболоченную местность и т. д.) с холодным климатом. В этих условиях необходимы транспортные системы с низкочувствительной инфраструктурой и технические решения, обеспечивающие бесперебойность транспортного потока по магистрали.

Наибольшая величина первоначальных инвестиций связана с существенными капиталовложениями при возведении путевой инфраструктуры для МЛТС. Это обстоятельство отпугивает потенциальных инвесторов. Однако если на хорошо освоенных территориях с развитой транспортной инфраструктурой экономическая эффективность МЛТС определяется конкурентной средой, то в северных труднодоступных районах для обеспечения устойчивых грузопотоков над снегом и зонами интенсивного водородного износа конструкций высокоскоростные грузовые транспортные системы эстакадного типа на магнитном подвесе по существу безальтернативны.

В России ЗАО «НТЦ ПРИВОД-Н»<sup>1</sup> в рамках Федеральной целевой программы разрабатывает элементы транспортной системы с магнитным подвесом, ориентированной на высокоскоростную транспортировку контейнерных грузов по слабо освоенным северным территориям.

Разработчики проекта выдвинули гипотезу о возможности создания простой комбинированной тягово-левитационной системы на основе предельно простого варианта линейного реактивного индукторного двигателя (ЛРИД), способного одновременно обеспечивать левитацию, тягу и курсовую стабилизацию. Такая комбинированная тягово-левитационная система позволяет использовать пассивную дискретную путевую структуру со сниженной материалоемкостью. Кроме того, простота конструкции напрямую связана с важнейшими эксплуатационными показателями, такими как живучесть и надежность системы.

---

<sup>1</sup> <http://privod-n.ru>.

Функциональная схема комбинированной системы левитации и тяги, выполненная на основе линейного реактивного индукторного двигателя, показана на рис. 3.

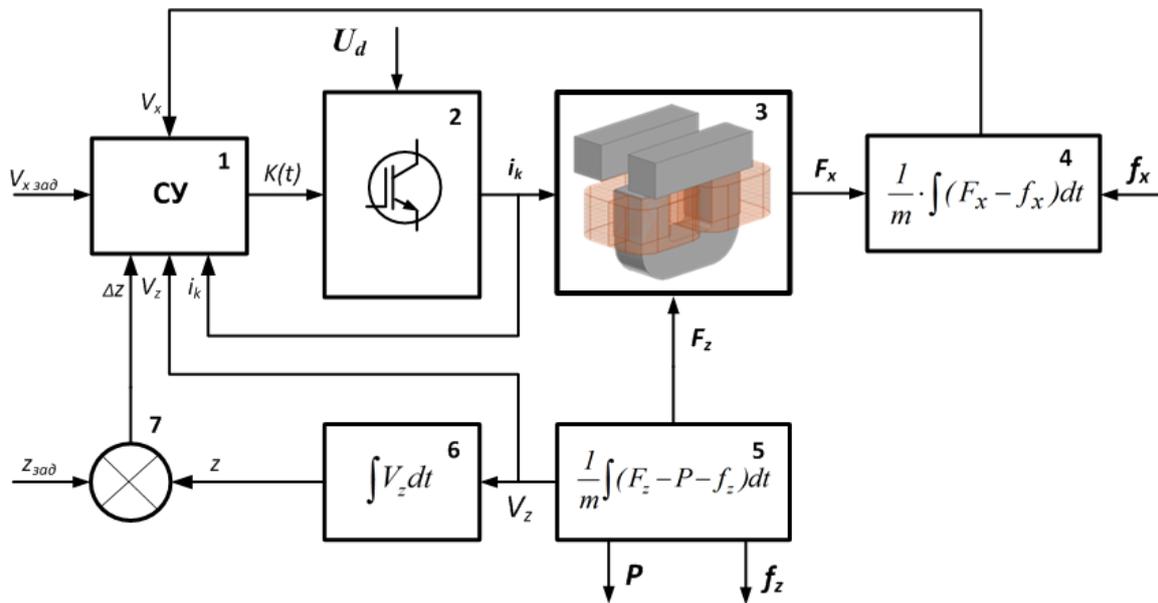


Рис. 3. Функциональная схема комбинированной системы левитации и тяги:

1 – система управления; 2 – силовой ключ преобразователя;

3 – тягово-левитационный модуль

Система управления 1 генерирует коммутационную функцию  $K(t)$ , управляющую переключением силовых ключей преобразователя 2. Под действием напряжения питания  $U_d$  преобразователь 2 формирует фазные токи  $i_k$  в обмотках тягово-левитационного модуля 3. При этом создаются сила тяги  $F_x$  и подъемная сила  $F_z$ . Под действием силы тяги  $F_x$  объект перемещается со скоростью  $V_x$ , преодолевая силу сопротивления движению  $f_x$  (блок 4). Подъемная сила  $F_z$  обеспечивает левитацию объекта, компенсируя вес объекта  $P$  и действие возмущающих сил  $f_z$  (блок 5). Под действием этих сил объект перемещается в вертикальном направлении со скоростью  $V_z$ . Сигнал зазора  $z$  формируется на выходе блока 6 путем интегрирования скорости вертикального перемещения  $V_z$ , сравнивается с заданным значением  $z_{зад}$  в блоке 7, а сигнал ошибки  $\Delta z$  подается на вход системы управления. Кроме этого, при формировании коммутационной функции  $K(t)$  используются сигналы  $V_x$ ,  $V_z$ ,  $i_k$  и сигнал задания скорости движения  $V_{x\text{ зад}}$ .

Особенностью математической модели комбинированной системы тяги и подвеса является описание потокосцепления фазного контура как функции трех переменных:

$$\Psi_k = f(i_k, x, z),$$

где  $i_k$  – ток в контуре;  
 $x$  – координата горизонтального перемещения;  
 $z$  – координата вертикального перемещения.

В общем виде математическая модель представляет систему уравнений, описывающих:

- баланс напряжений в электромагнитных контурах;
- процессы электромеханического преобразования энергии;
- уравнения движения объекта.

$$u_k = i_k \cdot R + \frac{\partial \Psi_k(i_k, x, z)}{\partial i_k} \cdot \frac{di_k}{dt} + \frac{\partial \Psi_k(i_k, x, z)}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \Psi_k(i_k, x, z)}{\partial z} \cdot \frac{dz}{dt};$$

$$F_x = \sum_{k=1}^b \frac{\partial}{\partial x} \left( \int_0^i \Psi_k(i_k, x, z) di \right)_{\substack{i=const \\ z=const}};$$

$$F_z = \sum_{k=1}^b \frac{\partial}{\partial z} \left( \int_0^i \Psi_k(i_k, x, z) di \right)_{\substack{i=const \\ z=const}};$$

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = F_x - f_x;$$

$$m \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} = F_z - m \cdot g - f_z,$$

где  $i_k$  – ток электромагнитного контура;  
 $x$  – координата перемещения в горизонтальном направлении;  
 $z$  – координата перемещения в вертикальном направлении;  
 $\Psi_k$  – потокосцепление электромагнитного контура;  
 $k$  – номер электромагнитного контура;  
 $b$  – количество электромагнитных контуров;  
 $g$  – ускорение свободного падения;  
 $m$  – масса левитирующего объекта;  
 $R$  – активное сопротивление контура;  
 $u_k$  – напряжение, подводимое к электромагнитному контуру;  
 $F_x$  – горизонтальная сила, создаваемая электромагнитным контуром;  
 $F_z$  – вертикальная сила, создаваемая электромагнитным контуром;  
 $f_x$  – сила сопротивления движению;  
 $f_z$  – возмущающее воздействие.

На базе математической модели тягово-левитационной системы разработана ее компьютерная реализация в графической среде имитационного

моделирования Simulink. Компьютерная модель позволяет моделировать динамические режимы работы.

На рис. 4 представлены результаты моделирования электромеханических процессов в тягово-левитационной системе. Приведены осциллограммы мгновенных значений фазных токов в обмотках тягово-левитационного модуля, мгновенных значений сил по координатам  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Фазные токи  $i_k$  формируются таким образом, чтобы суммарное подъемное усилие, создаваемое фазными контурами, обеспечивало левитацию объекта, а суммарное тяговое усилие – заданную скорость движения. На рис. 4 показано, что при воздействии возмущения по координате  $y$  возникает сила бокового смещения  $F_y$ , обеспечивающая курсовую стабилизацию движущегося объекта.

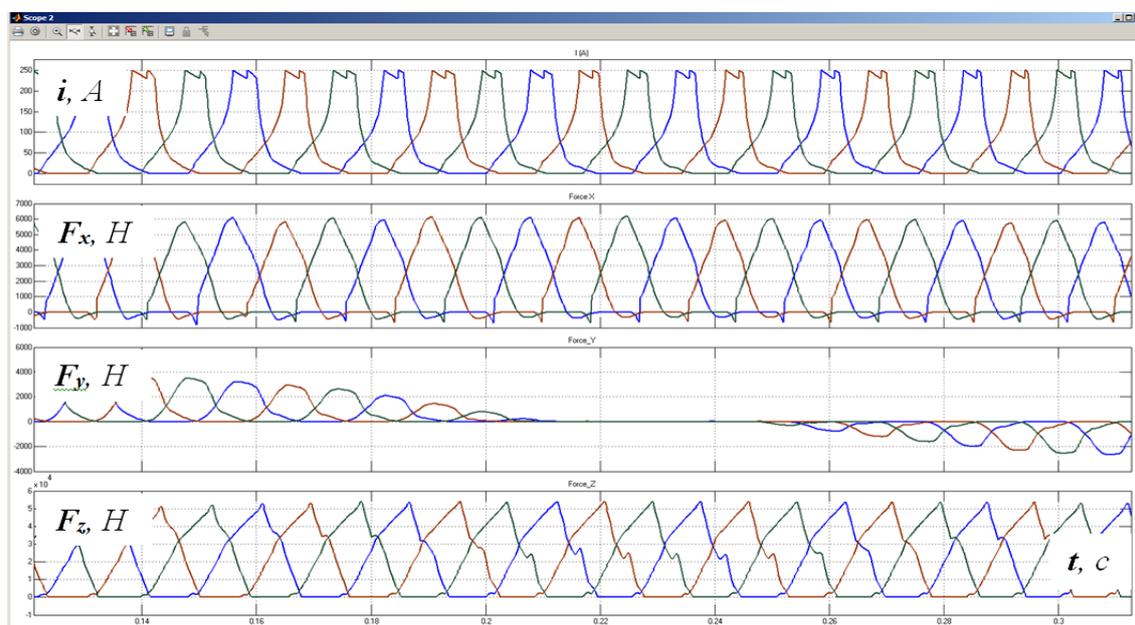


Рис. 4. Осциллограммы электромеханических процессов

По результатам компьютерного моделирования процессов в комбинированной системе тяги и подвеса разработаны основные технические решения. Для экспериментальной проверки концепции была изготовлена полнофункциональная физическая модель транспортной платформы, проведены экспериментальные исследования системы.

Основная цель эксперимента – проверить возможности совмещения в одном объекте функций левитации и тяги. Подобие процессов, протекающих в физической модели, обеспечивается подобием конфигурации магнитной системы макета тягово-левитационного модуля, выполненного в масштабе 1:7, идентичностью топологии схем силовых преобразователей модели и объекта, идентичностью алгоритмов управления и структуры системы управления. Транспортная платформа оснащена четырьмя тягово-левитационными модулями.

На рис. 5 показана функциональная схема модуля. Обмотки  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$  модуля  $A1$  включены в силовую схему полумостовых преобразователей  $UZ1-UZ3$ , которые получают питание от аккумуляторной батареи  $G1$ . Система управления формирует алгоритм коммутации силовых ключей  $VT1$ ,  $VT2$  преобразователей  $UZ1-UZ3$ , обеспечивающий левитацию объекта и его линейное перемещение вдоль путевой структуры. На вход системы управления поступают сигналы, пропорциональные токам в обмотках  $I_{a1}$ ,  $I_{b1}$ ,  $I_{c1}$  от датчиков тока  $TA1-TA3$ , воздушного зазора  $\delta_1$  от датчика зазора  $B1$ , а также логические сигналы, фиксирующие положение полюсов магнитной системы модуля относительно путевых элементов от блока датчиков положения  $BL1-BL3$ .

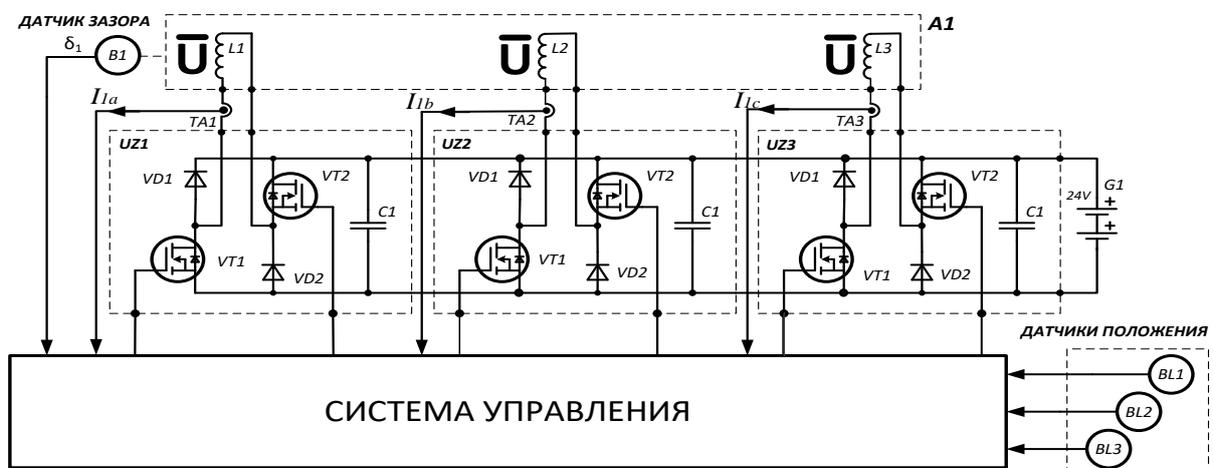


Рис. 5. Функциональная схема модуля

Конструктивно тягово-левитационный модуль полностью автономен и может быть адаптирован к различным конструктивным формам транспортной платформы.

На рис. 6 показан общий вид физической модели транспортной платформы.

Модель содержит четыре тягово-левитационных модуля, установленных на транспортной тележке; платформу с электронным оборудованием; дополнительную технологическую платформу, на которой располагается груз при экспериментах.

Во время экспериментов модель переводили в левитирующее состояние. Для этого в обмотки тягово-левитационных модулей подавали постоянный ток, регулируемый по величине в функции величины воздушного зазора между полюсами модулей и путевыми элементами. Далее запускали систему привода, при этом переключались токи в фазных обмотках по сигналам датчиков положения. При этом транспортная платформа бесконтактно перемещалась вдоль путевой структуры.

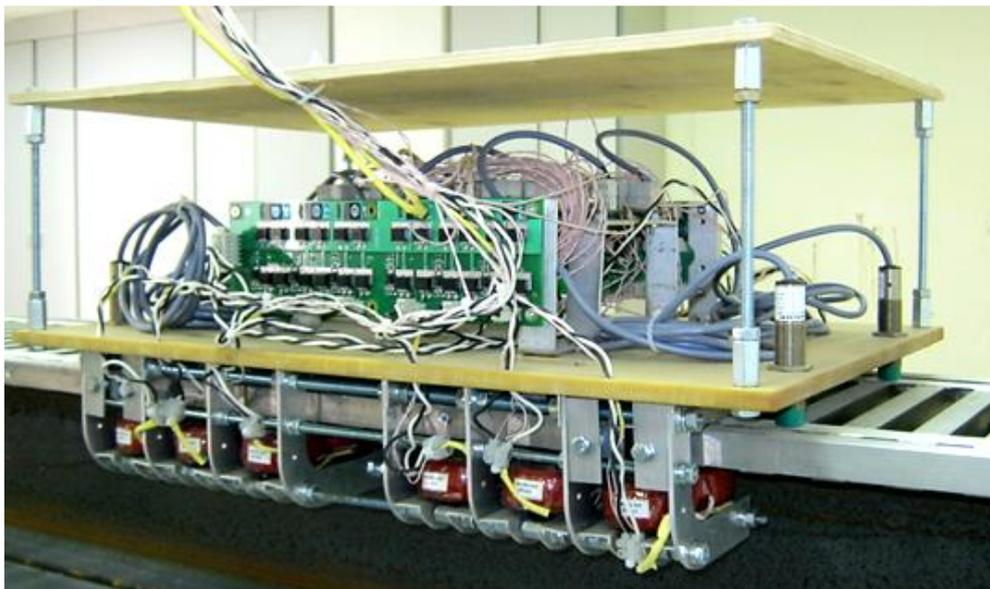


Рис. 6. Общий вид физической модели

На рис. 7 приведены осциллограммы электромеханических процессов при переходе тягово-левитационной системы из режима левитации в режим левитирующего перемещения вдоль путевой структуры. На осциллограммах показаны фазные токи модулей  $I_{1a}-I_{4c}$ , сигналы датчиков зазоров  $\delta_1-\delta_4$ , сигналы датчиков положения  $D_a, D_b, D_c$ .

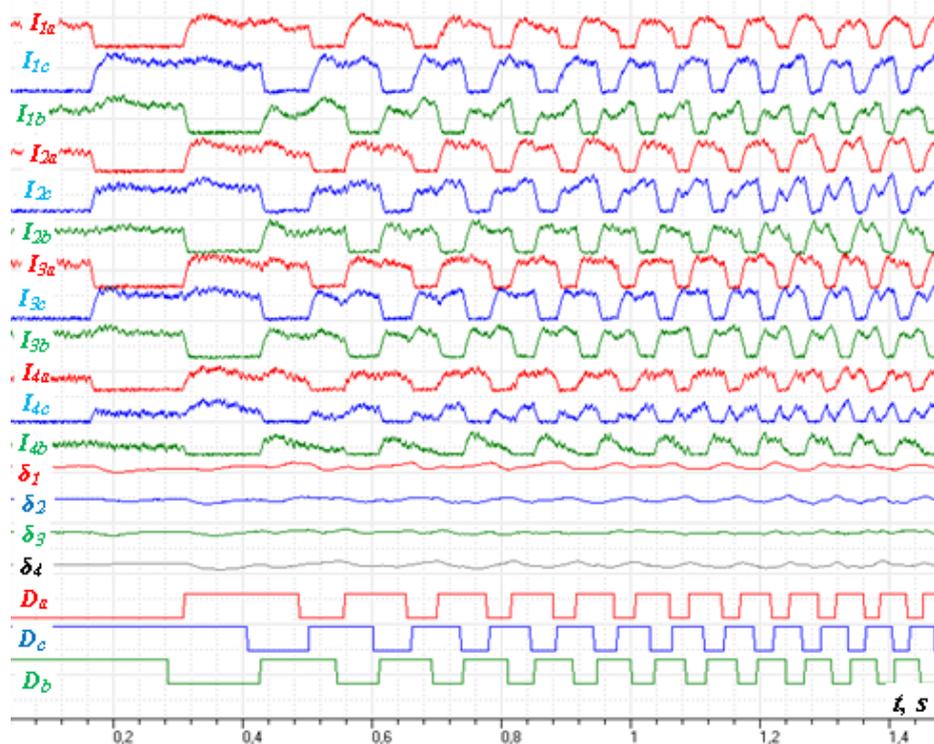


Рис. 7. Осциллограммы электромеханических процессов

Исследования физической модели транспортной платформы продемонстрировали ее работоспособность [16].

По результатам исследований предложена концепция построения грузовой МЛТС для эксплуатации на слабо освоенных территориях. Предлагаемая МЛТС должна содержать пассивную путевую структуру эстакадного типа и сцепные составы, состоящие из автономных транспортных платформ для перемещения контейнеров. Каждая платформа оснащается легкоъемными тягово-левитационными модулями и электрохимическими накопителями энергии. Подвижной состав может получать энергоснабжение как от автономных энергетических установок, так и от контактной сети. На рис. 8 показано поперечное сечение транспортной платформы.

На рис. 8 показаны: путевое полотно 1, опирающееся на опору 2; транспортная платформа 3, оснащенная колесными блоками 4, 5 для транспортировки платформы вдоль путевого полотна; передаточные устройства 6, 7, связывающие статоры линейных двигателей 8, 9 и транспортную платформу 3; элементы ротора 10, 11, установленные в ряд на путевом полотне 1 с шагом, равным полюсному делению линейного двигателя; роликовые катки 12, 13, ограничивающие боковое смещение платформы относительно путевого полотна. На поверхности путевого полотна 1 вмонтированы стальные пластины 14, 15, которые являются посадочной поверхностью для колес 4, 5 транспортной платформы 3.

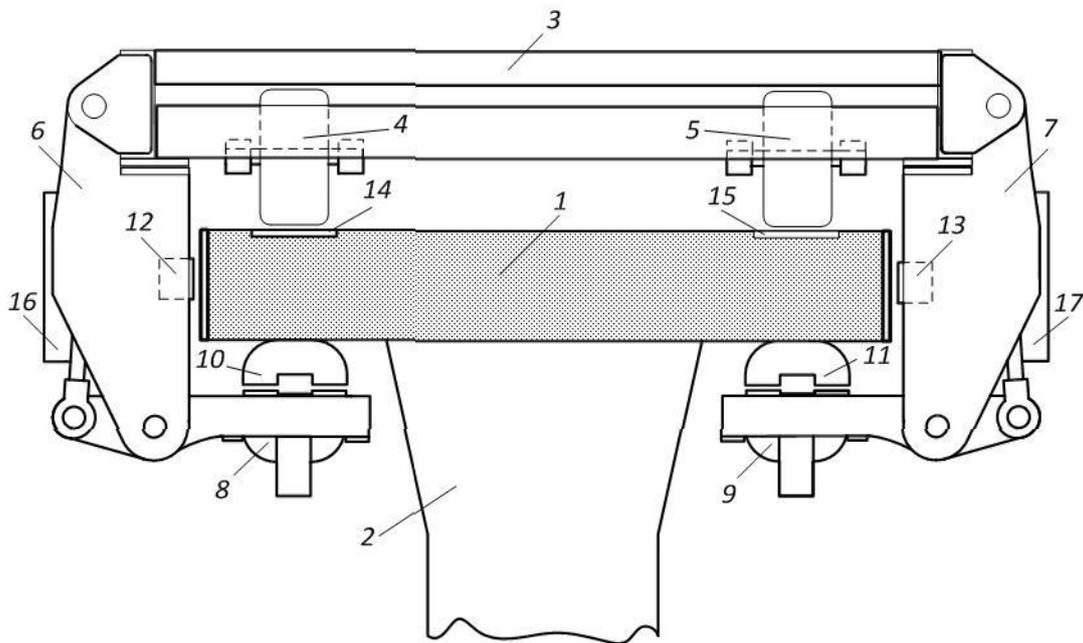


Рис. 8. Поперечное сечение транспортной платформы:  
 1 – путевое полотно; 2 – опора; 3 – транспортная платформа; 4, 5 – колесные блоки;  
 6, 7 – передаточные устройства; 8, 9 – статоры линейных двигателей;  
 10, 11 – элементы ротора; 12, 13 – роликовые катки; 14, 15 – стальные пластины;  
 16, 17 – преобразовательные устройства

При подаче импульсов тока в обмотки статоров линейных двигателей от преобразовательных устройств 16, 17 возникает силовое взаимодействие U-образных магнитопроводов статора и ротора через регулируемый по величине воздушный зазор. Создается тяговое, подъемное и боковое стабилизирующее усилие, которое передается через передаточные устройства к транспортной платформе. Это обеспечивает бесконтактное перемещение транспортной платформы вдоль путевой структуры.

Контейнерный поезд, составленный из 22 транспортных платформ, описанных выше, общей массой 1800 т может транспортировать 43 единицы 40-фунтовых контейнера с маршрутной скоростью 180 км/ч. Скорость передвижения контейнерных грузов – не менее 3600 км/сут. Чтобы реализовать прогнозируемый годовой объем транзитных контейнерных перевозок в 1,52 миллиона ДФЭ, необходимо, чтобы контейнерные поезда следовали с интервалом, равным примерно 0,5 ч (49 контейнерных поездов в сутки). При этом на линии в обоих направлениях одновременно должны находиться 156 контейнерных поездов. Парк транспортных платформ должен составлять 3432 единицы (без учета резерва).

Таким образом, предложенная концепция построения высокоскоростного контейнерного поезда физически реализуема и обеспечивает прогнозируемый годовой объем транзитных контейнерных перевозок.

#### **4. Оценка эффективности инвестиционного проекта**

Эффективность инвестиционного проекта оценивали в соответствии с Методическими рекомендациями, действующими на территории Российской Федерации. Горизонт планирования проекта – 40 лет. Денежные потоки проектов формируют следующие статьи затрат: инвестиционные затраты, эксплуатационные расходы, платежи по налогу на имущество.

В качестве основных показателей, используемых для расчетов эффективности инвестиционного проекта, выбраны: чистый доход, чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности, индекс доходности инвестиций, индекс доходности дисконтированных инвестиций; срок окупаемости.

Годовой экономический эффект определяется как разность между денежными потоками соответствующего года проекта с электровозом ЭП20 [17] и проекта МЛТС с ее последующим дисконтированием. Показатели эффективности проекта МЛТС приведены в табл. 2.

Расчетные значения основных показателей эффективности позволяют сделать вывод, что предлагаемый проект применения МЛТС для контейнерных перевозок является эффективным. Несмотря на большую величину первоначальной инвестиций, связанных с более существенными капиталовложениями в путевую инфраструктуру МЛТС, значительная экономия эксплуатационных расходов выводит проект на положительный экономический результат.

Таблица 2

**Показатели эффективности проекта МЛТС**

Показатель	Значение
Чистый доход, млн руб.	264 524,4
Чистый дисконтированный доход, млн руб.	7 555,6
Внутренняя норма доходности, %	10
Индекс доходности инвестиций	2,33
Индекс доходности дисконтированных инвестиций	1,04
Срок окупаемости (простой), лет	10,1
Срок окупаемости дисконтированный, лет	26,03

При расчетах не учитывались дополнительные денежные потоки для оператора, связанные с тарифной составляющей (от роста коэффициента производительности), а также социальные аспекты данного проекта для регионов страны, в которых будет реализован данный проект. С учетом такого мультипликативного эффекта экономическая целесообразность и привлекательность проекта заметно возрастает.

**Заключение**

Развитие транспортной инфраструктуры Российской Федерации связано с географическим положением страны как естественного транспортного коридора, соединяющего Европейский, Азиатско-Тихоокеанский регионы. Создание высокоскоростной Евроазиатской транспортной системы соответствует директивным документам, касающимся транспортной стратегии Российской Федерации по развитию потенциала евро-азиатских транспортных связей и транзитных перевозок грузов.

Транспортная система может быть основана на современной магнитолевитационной технологии, позволяющей существенно снизить эксплуатационные расходы, а следовательно, и транспортные издержки за счет бесконтактного перемещения транспортной платформы относительно путевой структуры.

Новая транспортная система будет способствовать высвобождению пропускной способности железных дорог для грузовых перевозок, прямому бесперегрузочному сообщению между Европой и Азией, а при соответствующей прокладке маршрута обеспечит доступность транспортных услуг по перевозке грузов в районах Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока и в удаленных регионах России.

**Библиографический список**

1. Владимиров С.А. Мировая транспортная система и логистика: основные направления развития / С.А. Владимиров // Региональная экономика и управление. – 2016. – № 2 (46). – URL: <http://eee-region.ru/article/4602> (дата обращения 10.04.2017).

2. Yuyama Y. The tobu kyuryo line (popular name: linimo) a magnetic levitation system / Y. Yuyama // The 18th Int. Conf. Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, 26–28 Oct. 2004, Shanghai, China. – URL: [http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2004/topic2/IMT\\_CP\\_M2004\\_T2\\_6.pdf](http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2004/topic2/IMT_CP_M2004_T2_6.pdf) (дата обращения 10.04.2017)

3. Shanghai Maglev Transrapid Technology. Presentation Siemens AG, 2007. – URL: <http://www.ft.dk/samling/20061/almdel/tru/bilag/361/363482.pdf> (дата обращения 27.09.2017).

4. Maglev for Urban Transit. – URL: <http://www.discovery.org/scripts/viewDB/filesDB-download.php?command=download&id=950> (дата обращения 27.09.2017).

5. Wiegand D. Magnetschellbahn Moskau – Berlin: Maglev – Hochgeschwindigkeits magistrale Ost-West / D. Wiegand // The Int. Maglevboard. – München, 2010. – Juni. – P. 237–245.

6. Superconducting Maglev the World's Fastest Train – Coming to America. Website Company USJMAGLEV, 2012. – URL: <http://www.usjmaglev.com/usjmaglev/Home.html> (дата обращения 10.04.2017).

7. Powell J. The Fight for Maglev: Making America the World Leader in 21st Century Transport / J. Powell, J. Jordan, G. Danby. – USA: Create Space, 2012. – 402 p.

8. James K. Maglev Freight Conveyor Systems / K. James. – URL: [http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2008/topic1/IMT\\_CP\\_M2008\\_T1\\_5.pdf](http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2008/topic1/IMT_CP_M2008_T1_5.pdf) (дата обращения 10.04.2017).

9. General Atomics. Maglev Technologies. Website Company General Atomics (GA). – URL: <http://www.ga.com/urban-maglev> (дата обращения 10.04.2017).

10. Антонов Ю.Ф. Технология «Магтрансити» в проекте «Санкт-Петербургский Маглев» / Ю.Ф. Антонов, А.А. Зайцев, Е.И. Морозова, Ю.Ф. Хозиков // Изв. ПГУПС. – 2013. – Вып. 4. – С. 5–17.

11. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением правительства РФ от 11 июня 2014 г. № 1032-р). – URL: [http://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION\\_ID=2203#document\\_19188](http://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION_ID=2203#document_19188) (дата обращения 10.04.2017).

12. Tennenbaum J. The New Eurasian Land-Bridge Infrastructure Takes Shape, 2001. – URL: <http://www.larouchepub.com/eiw/public/2001/eirv28n42->

20011102/eirv28n42-20011102\_016-the\_new\_eurasian\_land\_bridge\_inf.pdf  
(дата обращения 01.09.2017).

13. The Euro-Asian Transport Links (EATL) project. – URL: <http://www.unecsc.org/trans/main/eatl.htm> (дата обращения 10.04.2017).

14. Раровский П.Е. Российский экспорт транспортных услуг в современных условиях / П.Е. Раровский // Рос. бюл. российского фонда. – 2016. – № 5. – С. 116–131. – URL: <http://www.rfej.ru/rvv/id/0003F43CB> (дата обращения 27.09.2017).

15. Копыленко В.А. Расширение сети железных дорог в малоосвоенных регионах России – одна из важных задач развития железнодорожного транспорта страны в XXI веке / В.А. Копыленко, Ю.А. Быков, И.В. Турбин, В.В. Космин // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта (Прил. к журн. Транспорт РФ). – 2008. – № 4. – С. 4–7.

16. Kireev A.V. Starting operating mode of the combined traction levitation system of the vehicle equipped with magnetic suspension / A.V. Kireev, G.N. Kononov, A.V. Lebedev // Int. J. Power Electronics and Drive System (IJPEDES). – 2017. – № 8 (1):176. – P. 176–183.

17. Пархоменко А. Локомотивы нового класса EP20 нового поколения РЖД / А. Пархоменко // Railvolution. The Prof. Two-Monthly Magazine of Rail Transp. Worldwide. – Т. 12. – № 4/12. – С. 85–92. – URL: <https://library.e.abb.com/public/175cd263dc51cad2c1257a860040bcd2/Railvolution04-12-ABB-Traction-transformers-EP20.pdf> (дата обращения 10.04.2017).

**Сведения об авторах:**

КИРЕЕВ Александр Владимирович, к. т. н., доцент, генеральный директор.

E-mail: [akireev@privod-n.ru](mailto:akireev@privod-n.ru)

КОЖЕМЯКА Николай Михайлович, к. т. н., технический директор.

E-mail: [nkozhemuyaka@privod-n.ru](mailto:nkozhemuyaka@privod-n.ru)

КОНОНОВ Геннадий Николаевич, ведущий специалист.

E-mail: [gkononov@privod-n.ru](mailto:gkononov@privod-n.ru)

ЗАО «Научно-технический центр ПРИВОД-Н, г. Новочеркасск

© Киреев А. В., Кожемяка Н. М.,  
Кононов Г. Н., 2017

UDK 629.027:621.318.3

V. Kireev, N. M. Kozhemyaka, G. N. Kononov

## PREREQUISITES FOR THE CREATION OF A HIGH-SPEED CONTAINER TRANSPORT SYSTEM

Date of receipt 01.10.2017

Decision on publication 26.10.2017

The new scope of application for vehicles equipped with magnetic suspension is the freight container transportation. In order to realise the transit potential of the country, the increase in mean speed of the container trains is required.

**Objective.** The purpose of the work is to explore the possibilities to develop the high-speed transport system equipped with magnetic suspension for container transportation along Eurasian land bridge.

**Methods.** The following methods and analysis have been used as research instruments: case study, computer modeling, transport geography and technical and economic analysis.

**Results.** The market analysis results of the transit container transportation have shown that the major challenge for Russian transit development is the constrained traffic capacity of the existing transport corridors. The drastic solution of the problem can be the construction of a new high-speed transport system. The following factors determining the conditions for the creation of the new transport system have been identified: the use of the Azov-Black sea basin transportation facilities, provision of the accessibility of the northern areas; the development of technical solutions ensuring the design of the transport system with low cost infrastructure. The combined traction levitation system has been developed based on the extremely simple design of the linear switched reluctance motor. The experimental researches of the full-functional physical model of the transport platform have been performed. The assessment of investment project efficiency has shown that despite large start-up investment in the track infrastructure, the project has positive economic effect.

**Practical importance.** The computer model of the combined traction levitation system based on the linear switched reluctance motor has been designed.

The concept of the new transport system construction has been introduced taking into account the characteristics of the supposed operating test sites in poorly developed areas. The high-speed route has been proposed connecting the Azov-Black sea basin with the Pacific coastline and completely passing through the territories of Russia including some northern regions. The transit potential assessment has shown that due to the transit time reduction it is possible to attract the container freights with traffic volume of 1.52 million in twenty-pounds equivalent.

Container traffic, conveyor container transport, maglev freight train, transport corridors, linear synchronous motor, high-temperature superconducting technology.

---

The work has been carried out with the financial support of Russia's Ministry of Education and Science. The unique identification code of studies RFMEFI57916X0132.

## Introduction

The general tendency for the development of the world transport system is the acceleration of the transport process, achieved by the formation of transport corridors, improvement of the transport and logistics structure of transportation, and the increase of speed transport modes [1].

By 2000, workable technical solutions for high-speed magnetically suspended transport had been formed. In particular, the first commercial line in Japan Tobu Kyuryo Line [2], the high-speed transport system on the magnetic suspension Transrapid in Shanghai [3], the UMT transport system in South Korea [4].

In the beginning, once high-speed modes of transport emerged, the developers already showed aspiration for demonstration of the new technology capabilities. This stage is characterised by the desire to set speed records. As the main criterion the route speed was put forward, leaving in shadow the economic and social effects.

Attempting to give the projects competitive status, the developers found out that there were only two transport corridors where recoument of magnetic levitation transport systems (MLTS) could be ensured. These are ones in France and Japan, running through densely populated areas with heavy traffic. These corridors were established before the dominance of road transport.

The active search for local transport corridors that could ensure recoument of the system is being observed. Many MLTS implementation projects are known now [5] in the USA, Great Britain, Germany, Japan, China, Iran, India and others. The companies for maglev implementation emerged: The Northeast Maglev (TNEM) – American company which cooperates with the Japanese Central Japan Railway Company (JR Central) in implementation of SCMAGLEV in the USA, the American company US – Japan MAGLEV working at implementation of the Japanese superconductor-based maglev system of the company JRC (SCMAGLEV) [6].

Thus, it is obvious that the world practice has not broadly deployed this kind of ground transport yet, due to high construction expenditure costs and lack of intensive stable passenger traffic.

The development of high-temperature superconductor technology gave birth to new vision of MLTS. That was reflected in the book by James Powell “The Fight for Maglev: Making America the World Leader in 21st Century Transport” [7]. In the book, the freight high-temperature superconductor-based MLTS has been proposed. The most attractive type of freight transportation is conveyor container transport [8].

Earlier, in the USA the work of construction of transport freight platform with magnetic suspension had been conducted by General Atomics [9]. The transport was intended for conveyor transportation.

At present, Russia is developing maglev conveyor line for processing container goods in Ust-Luga Port Terminal<sup>1</sup>. The project is being realised on the basis of new maglev technology “MagTranSiti” [10].

New application of MTLs in the sphere of freight transportation requires reconsideration of concept of its construction taking into account the properties of the area intended for operation.

The railway transport development strategy up to 2030 has special chapter for transit container transportation [11]. The territory of the Russian Federation is a natural bridge connecting Europe and Asia-Pacific Region states. For realisation of transit potential of the country, the task is set to increase container trains speed. Now, the development of transport area is conducted at the expense of liquidation of gaps and “narrow sections” by virtue of reconstruction and construction of separate sections of transport network. The main project is considered to be construction of high-speed railway for accelerated delivery of containers from China, Central Asia and Eastern Europe to Europe – the Trans-Eurasia Container Mainline. This mainline will enable organisation of container transportation with the speed of 140-160 km/h, ensure release of carrying capacity of Russia Far East railways.

Meanwhile, the idea of establishment of Eurasian Land Bridge deploying magnetic suspension technology [12]. However, until now no researches had been carried out to access capabilities of MLTS-based container transportation on the Eurasian Land Bridge.

The purpose of the work consists in studying the possibility of creating high-speed transport system with magnetic suspension for container transportation on Eurasian Land Bridge.

### **1. Setting task**

The basic tasks that were solved during the research are as follows:

- assessment of container transportation market situation;
- identification of factors that determine the conditions for the creation of a new transport system;
- forecasting the volumes of container transit traffic of a new high-speed transport system;
- identification of factors determining the route of the line;
- research of technical solutions ensuring realisation of the project;
- assessment of the project efficiency.

---

<sup>1</sup> <http://port-ustluga.ru/en>.

## 2. Materials and methods of research

The main information sources used for the work are: the Russian Federation's Transport Strategy up to 2030<sup>1</sup>, sea transport review (regular publication issued by UNCTAD)<sup>2</sup>, the UN Economic Commission for Europe (UNECE) on the Euro-Asian Transport Links (EATL)<sup>3</sup>, materials of UNECE Inland Transport Committee<sup>4</sup>, materials of the Coordinating Council on

Trans-Siberian Transportation (CCTT<sup>5</sup>), information provided by container transportation operators China-Europe: JSC "RZD"<sup>6</sup>, Intermodal container operator "Trans Container"<sup>7</sup>, DB Schenker<sup>8</sup>, Far East Landing Bridge (FELB)<sup>9</sup>.

As an instrument of research, the situation analysis methods were used, computer modelling, transport geography, technical and economic analysis.

## 3. Results

### 3.1. Assessment of container transportation market situation

Today, most of the cargo transported from Asia to Europe and back is carried by sea, which is associated with a sharp increase in container freight turnover between the two continents. The second place in the cost volume of supplies is air transport. The list is closed by railway transport.

The prevailing scheme of goods delivery by sea has led to a gradual exhaustion of turnover capacity reserves of the North European ports. In this regard, many logistics companies in Europe and Asia began to increasingly use the ports of the southern Mediterranean to transport goods to the European market. When delivering through southern Europe, large ships navigating from Asia spend three or four days less on the way. In modern conditions, the existing capacity of ports is becoming insufficient, and some of them are already rapidly approaching the maximum volumes of cargo turnover.

The biggest problem that exists in Euro-Asian maritime transport is related to very long shipment time.

<sup>1</sup> <https://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION...>

<sup>2</sup> [http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2014\\_ru.pdf](http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2014_ru.pdf).

<sup>3</sup> [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/eatl/docs/EATL\\_Report\\_Phase\\_II-Ru.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/eatl/docs/EATL_Report_Phase_II-Ru.pdf).

<sup>4</sup> <http://www.unece.org/trans/main/eatl.html>.

<sup>5</sup> <http://icctt.com/transsib>.

<sup>6</sup> [www.rzdlog.com](http://www.rzdlog.com).

<sup>7</sup> [www.trcont.ru](http://www.trcont.ru).

<sup>8</sup> <https://www.dbschenker.com>.

<sup>9</sup> [www.felb.world](http://www.felb.world).

An alternative to maritime transport is land transportation, which can meet a significant part of the expected additional demand for transport services in the future. Distances by land between Europe and Asia are generally shorter than the distances by sea, especially if the points of departure and destination of the cargo lie deep in both continents.

Railway transport is becoming an optimal way of ensuring connections between ports and inland regions of a continent. Efficient operation of such railway routes as the Trans-Siberian Railway<sup>1</sup> and the Trans-Asian Railway<sup>2</sup> through China will enable creation of additional passage capacity, making it possible to form the niche demand for enhanced transportation [13].

Today, the journey speed of container trains along the Trans-Siberian Railway is 1550 km per day. This is achieved, mainly, by increasing the journey speed by reducing the number and duration of technological operations with train units, which undoubtedly increases the competitiveness of this type of transportation. At the same time, the desire to achieve the maximum possible technical speed is limited by the loss of the rest of the freight traffic along the Trans-Siberian Railway.

The next issued is bound with the transportation volume. In the directive documents of the Russian Federation concerning the transport strategy, the declared volume of transit traffic along the Trans-Siberian Railway in 2030 is expected to reach 1.44 million TEU. However, the main problem in the implementation of plans to increase the transit flow of goods is the capacity of the Trans-Siberian Railway. After completion of the reconstruction of the highway by 2018, the total capacity will be 185 million tons per year. At the same time, the share of container transit can increase to 0.5 million TEU, which is clearly not enough to reach the planned traffic volumes.

The assessment of transit potential of the Russian Federation in terms of goods traffic between Asia and the EU indicates that the at the expense of transit time by 25–30 % the sea way goods can be taken as well. The total share of land Eurasian transport can be increased from 1.9 to 18.5 %. Table 1 shows the forecast data for the distribution of container transit between corridors.

Table 1

**Distribution of transit volume between corridors, %**

Transports corridor	2020
The Trans-Siberian Railway	8,1
The Trans-Asian Railway	6,0
The Suez Canal route	81,5
Other routes	4,4
Total	100

<sup>1</sup> <http://www.transsib.ru/cat-geo.htm>.

<sup>2</sup> [http://www.unescap.org/sites/default/files/tarsc-fulltext\\_1980.pdf](http://www.unescap.org/sites/default/files/tarsc-fulltext_1980.pdf).

Using the data of Table 1 for the TSR (8.1), supposing that the average volume grow makes 5.6 %, as well as data of sea container transportations to Europe in 2016 (15.3 million TEU)<sup>1</sup>, we can calculate the expected transportation volume on the TSR in 2020. The expected transportation volume may reach 1.52 million TEU. Thus, the forecast transportation volume significantly exceeds the volume stated in the directive documents.

A cardinal solution to the problem might become the construction of new rapid transport system with containers carried at least 2500 km per day. This would coincide with UNECE articles. Thus, the Euro-Asian Transport Links report suggests that there is need in diversification of today's routes and opening of new alternative ones between Europe and Asia, further developing the trans-Siberian communication.

The new transport system can facilitate the release of the capacity of railways for freight traffic, direct uninterrupted communication between Europe and Asia, and, if properly routed, can ensure the availability of transportation services for carrying goods in the Far North, Siberia, the Far East and remote regions of Russia.

### 3.2. Factors determining the conditions of creation of new transport system

#### 3.2.1 The expected route

*Geopolitical factor.* In the forming geopolitical realia, it is reasonable to consider the issue of Russia's using the transport strategic capacities of the Azov and Black Sea Basin in the long run [14]. Besides, to decrease political risk, it would be highly advisable to have the entire route laid on the territory of one country, for example with the starting points on Russia's Pacific coast and terminal points in logistical centres of the Azov and Black Sea Basin.

*Northern territories' transport accessibility factor.* There is a strategic need of priority construction of new extended lines in the poorly developed Northern regions of the country, for example north to the TSR and Baikal-Amur Mainline where the prospective natural resources can be found [15].

*Technical and economic factor.* Vast territory and high unit cost of MLTS flyover dictates demand in realisation of minimum distance when choosing the route. Unlike conventional railways, a MLTS flyover does not require cleaning taiga territories, levelling the ground, bypassing natural obstacles. The flexible inclusion of the structure into landscape is ensured, creating prerequisite for straightening the track.

---

<sup>1</sup> World Maritime Review, 2016.

Taking into account the main factors determining the proposed route, we can outline the following route: the starting point is on the Pacific coast; the terminal point is one of the ports of the Azov and Black Sea basin. The southern ports of Russia are at the crossroads of the world trade routes, several transport corridors pass through them, in addition, it is the shortest way from the largest industrial centres from Russia to Europe, the countries of the Middle East, and Asia.

As the starting point of the route on the Pacific coast, we can choose the seaport of Vanino (fig. 1a)<sup>1</sup>. It is a transport hub connecting railway, sea and road routes. Through Vanino shipments are delivered to the northeast regions of Russia, Japan, South Korea, China, Australia, the USA and other countries. The favourable geographic location of the port opens the way to the sea for cargoes travelling along the Baikal-Amur and Trans-Siberian railways

It is advisable to make the Taman peninsula area as a terminal point. Since Russia's sea infrastructure development strategy up to 2030<sup>2</sup> forecasts significant increase of cargo turnover of the Azov and Black Sea basin at the expense of construction of the port of Taman<sup>3</sup> with the expected capacity of more than 100 million tonnes by 2030. The proposed location of the port is Panagia Cape area (fig. 1b) located in Southwest of Taman Peninsula. The nearest railway hub is the city of Krymsk.



Fig. 1. Geographical location of starting (a) and terminal (b) points of the route

The fig. 2 shows the proposed high-speed MLTS route.

<sup>1</sup> <http://www.vaninoport.ru>.

<sup>2</sup> [http://www.rosmorport.ru/media/File/State-rivate\\_Partnership/strategy\\_2030.pdf](http://www.rosmorport.ru/media/File/State-rivate_Partnership/strategy_2030.pdf).

<sup>3</sup> <http://taman-seaport.ru>.

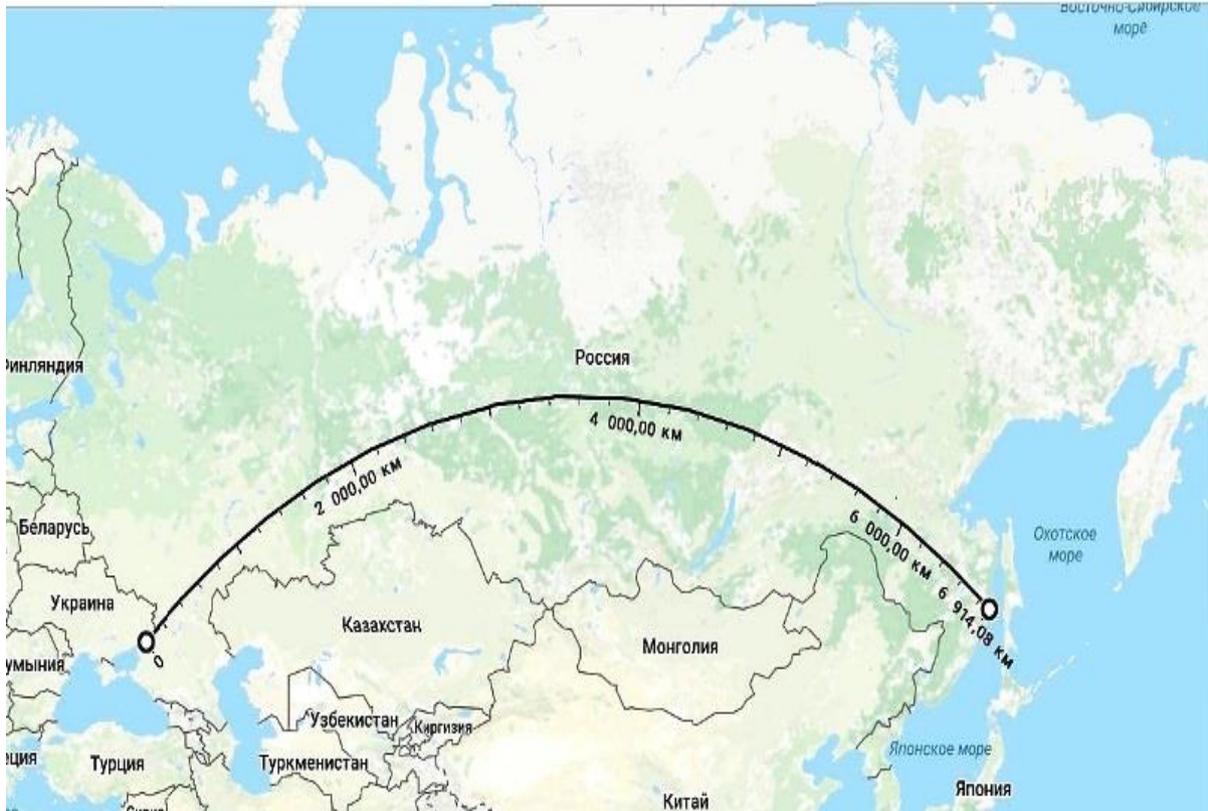


Fig. 2. MLTS high-speed route

The prospective route of the MLTS route is characterised by a very large length (approximately 7 000 km), potentially has a significant range of variation, the width of which can be several hundred kilometers, depending on the terrain features, geotechnical conditions, location of favourable crossings of broad rivers, and also from seismic and other unfavourable conditions on the sections of the direction of the mainline.

The route takes into account key factors: it connects the Azov and Black Sea basin with the Pacific coast, completely passes through the territory of the Russian Federation, including northern territories (up to 60° N), and its length is 25 % shorter than the length of existing routes.

### 3.2.2. Technical realisation of the transport system

The critical need in creation of high-speed freight transportation systems, having a separate flyover route, generates the task to search for technical solutions, enabling us to decrease costs for construction and maintenance of MLTS.

The proposed route passes through remote low-accessible areas (water barriers, mountain ranges, wetlands, etc.) with a cold climate. In these conditions, transport systems with low-cost infrastructure and technical solutions are needed to ensure uninterrupted traffic on the mainline.

The largest amount of initial investment is associated with significant capital investment in the construction of a track infrastructure for MLTS. This circumstance discourages potential investors. However, if the economically effective MLTS is determined by a competitive environment in well-developed territories with a developed transport infrastructure, in high-traffic areas of the northern hard-to-reach areas to ensure stable cargo flows over the snow and zones of intensive hydrogen wear of structures, the high-speed cargo transport systems of the flyover type on magnetic suspension are essentially non-alternative

In Russia, Ltd. “PRIVOD-N”<sup>1</sup> within the Federal Target Programme (*Federal'naya Tselevaiia Programma*) is developing transport system elements with magnetic suspension aimed at transporting goods through poorly developed northern territories.

The developers of the project have formulated a working hypothesis about construction of simple combined traction and levitation system on the basis of the switched reluctance motor, capable to simultaneously ensure levitation, traction and stabilisation. This combined traction and levitation system enables using the passive discrete guideway with a decreased materials consumption. Besides, the simplicity of the construction is directly related to the most important operational factors, such as survivability and reliability of the system.

The functional scheme of the combined traction and levitation system, arranged on the basis of the switched reluctance motor, is shown in the fig. 3.

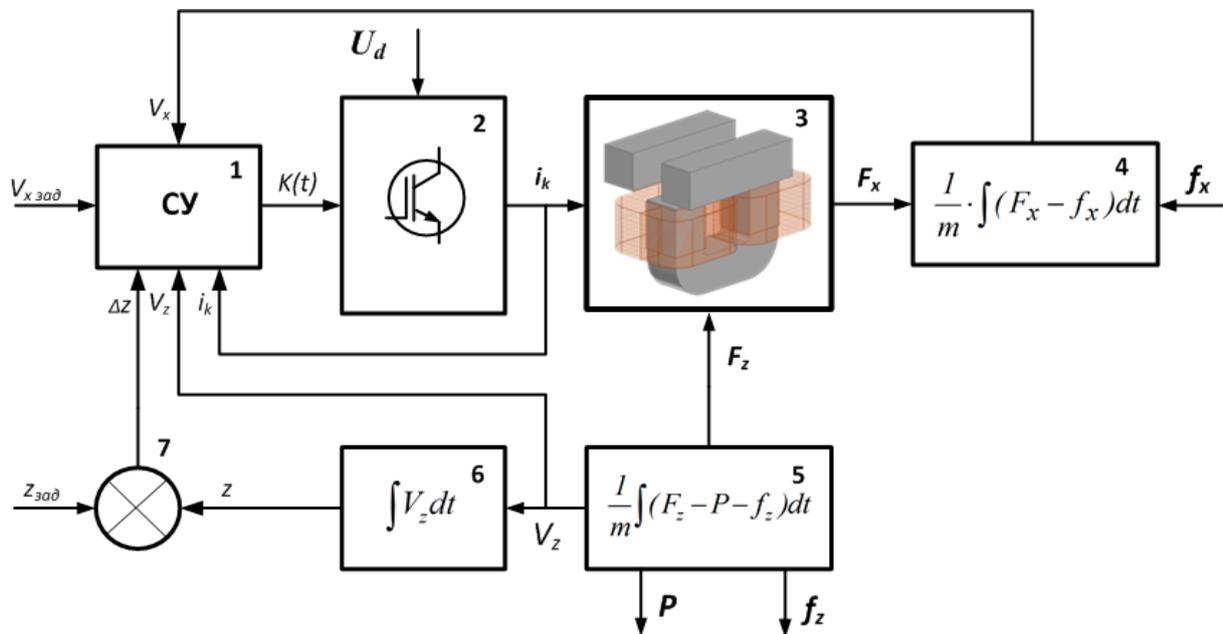


Fig. 3. Functional system of combined traction and levitation system

<sup>1</sup> <http://privod-n.ru>.

The system of operation 1 generates commutation function  $K(t)$ , operating switches of power keys of converter 2. Under the influence of the supply voltage  $U_d$ , the converter 2 generates phase currents  $i_k$  in the windings of the traction and levitation module 3. This generates the traction force  $F_x$  and the lifting force  $F_z$ . Under the action of the traction force  $F_x$ , the object moves at a speed  $V_x$ , overcoming the resistance to movement  $f_x$  (block 4). Lifting force  $F_z$  provides levitation of the object, compensating the weight of the object  $P$  and the action of the disturbing forces  $f_z$  (block 5). Under the action of these forces, the object moves in the vertical direction at a speed  $V_z$ . The gap signal  $z$  is formed at the output of the unit 6 by integrating the vertical travel speed  $V_z$ , is compared with the set value  $z_{set}$  in the block 7, and the error signal  $\Delta z$  is supplied to the input of the control system. In addition, when forming the switching function  $K(t)$ , the signals  $V_x$ ,  $V_z$ ,  $i_k$  and the speed reference signal  $V_{x\ set}$  are used.

A peculiarity of the mathematical model of the combined traction and suspension system is the description of the linkage of the phase contour as a function of three variables:

$$\Psi_k = f(i_k, x, z),$$

where  $i_k$  – contour current;

$x$  – horizontal motion coordinate;

$z$  – vertical motion coordinate.

Generally, the mathematical model shows the system of equations describing:

- current balance in electromagnetic contours;
- electromechanical energy converters processes;
- object motion equations.

$$u_k = i_k \cdot R + \frac{\partial \Psi_k(i_k, x, z)}{\partial i_k} \cdot \frac{di_k}{dt} + \frac{\partial \Psi_k(i_k, x, z)}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \Psi_k(i_k, x, z)}{\partial z} \cdot \frac{dz}{dt};$$

$$F_x = \sum_{k=1}^b \frac{\partial}{\partial x} \left( \int_0^i \Psi_k(i_k, x, z) di \right)_{\substack{i=const \\ z=const}};$$

$$F_z = \sum_{k=1}^b \frac{\partial}{\partial z} \left( \int_0^i \Psi_k(i_k, x, z) di \right)_{\substack{i=const \\ z=const}};$$

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = F_x - f_x;$$

$$m \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} = F_z - m \cdot g - f_z,$$

where  $i_k$  – electromagnetic contour current;

$x$  – horizontal motion coordinate;

$z$  – vertical motion coordinate;

$\Psi_k$  – electromagnetic contour linkage;

$k$  – number of electromagnetic contour;

$b$  – number of electromagnetic contours;

$g$  – gravitational acceleration;

$m$  – weigh of levitated object;

$R$  – active resistance of contour;

$u_k$  – voltage applied to the electromagnetic contour;

$F_x$  – horizontal force generated by electromagnetic contour;

$F_z$  – vertical force generated by electromagnetic contour

$f_x$  – force of resistance to motion;

$f_z$  – disturbing action.

On the basis of mathematical model of traction and levitation system, its computer realisation in the graphical environment of imitation modelling Simulink has been developed. The computer model enables conducting modelling of dynamic regimes of the work.

The fig. 4 shows results of modelling of electromechanical processes in traction and levitation system. The oscillograms of instant values of phase currents in traction and levitation module windings, instant force values on the coordinates  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Phase currents are formed in such a way that the total lifting force produced by the phase contours provides levitation of the object, and the total traction force – the predetermined speed. The picture shows that when a disturbance on the coordinate  $y$  acts, a lateral displacement force  $F_y$  appears, which provides a course stabilisation of the moving object.

Based on the results of computer simulation of processes in the combined traction and suspension system, the main technical solutions were developed. For experimental verification of the concept, a full-featured physical model of the transport platform was made and experimental studies of the system were carried out.

The main purpose of the experiment was to test the possibility of combining the functions of levitation and traction. The similarity of the processes taking place in the physical model is ensured by the similarity of the configuration of the magnetic system of the model of the traction and levitation module made on a scale of 1:7, the identity of the topology of the schemes of power converters of the model and the object, the identity of the control algorithms with the structure of the control system. The transport platform is equipped with four traction and levitation modules.

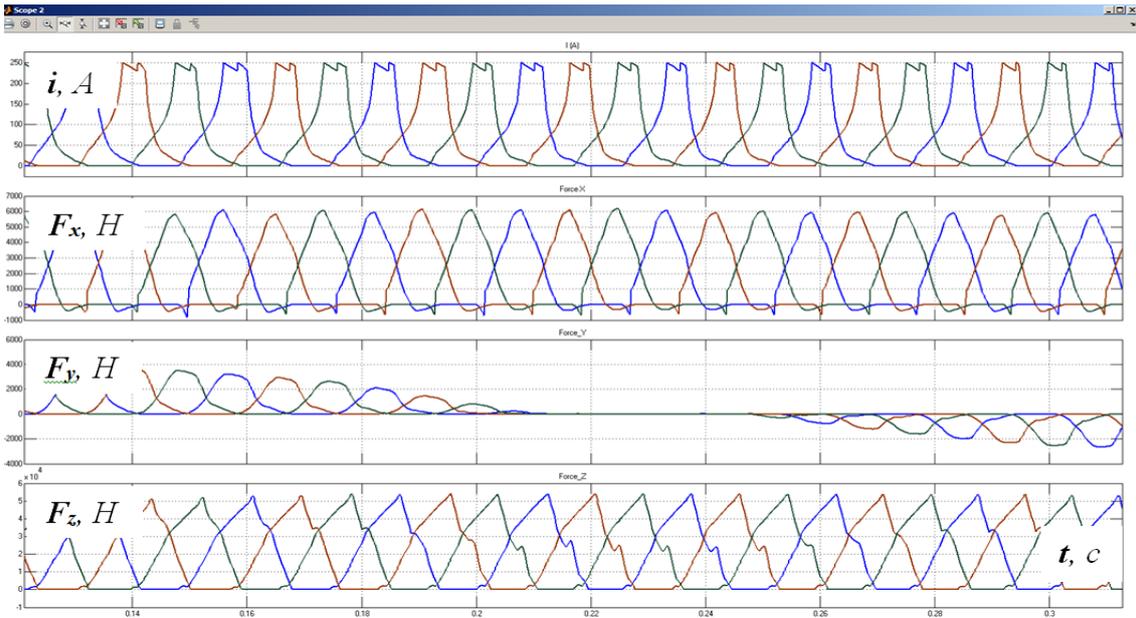


Fig. 4. Elektromechanical processes oscillograms in traction and levitation system

The fig. 5 shows functional scheme of the module. Windings  $L1, L2, L3$  of the module  $A1$  are embedded into the power scheme of push-pull converter  $UZ1-UZ3$ , which are powered by accumulator battery  $G1$ . The control system forms algorithms of commutation of power keys  $VT1, VT2$ , converters  $UZ1-UZ3$ , ensuring levitation of the object and its linear motion along the guideway.

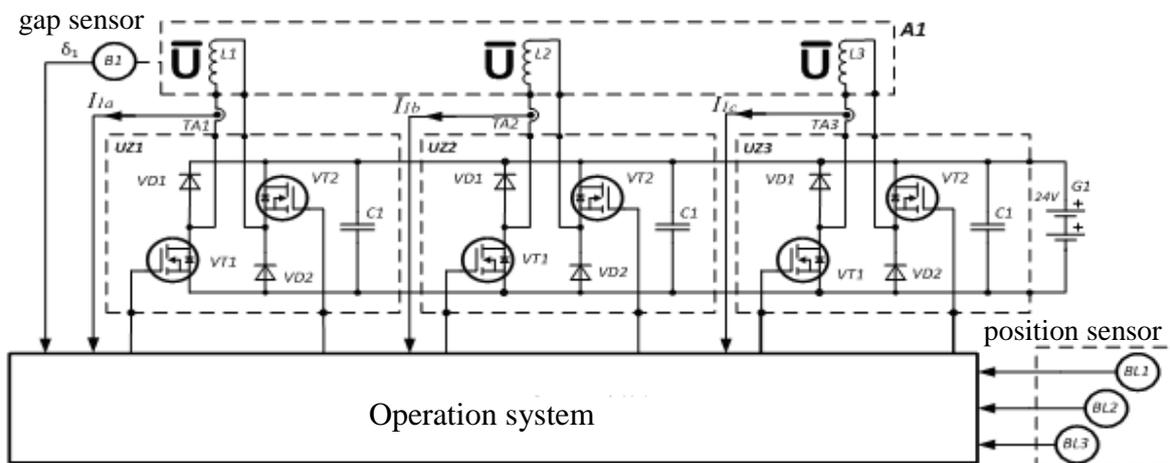


Fig. 5. Functional scheme of the module

The input of the control system receives signals proportional to the currents in the windings  $I_{a1}, I_{b1}, I_{c1}$  from the current sensors  $TA1-TA3$ , the air gap  $\delta_1$  from the gap sensor  $B1$ , and also the logic signals fixing the position of the poles of the module magnetic system relative to the track elements from the block of position sensors  $BL1-BL3$ .

In terms of construction, the traction and levitation module is fully autonomous and may be adapted to various construction forms of the transport platform.

The fig. 6 shows the general view of the physical model of the transport platform.

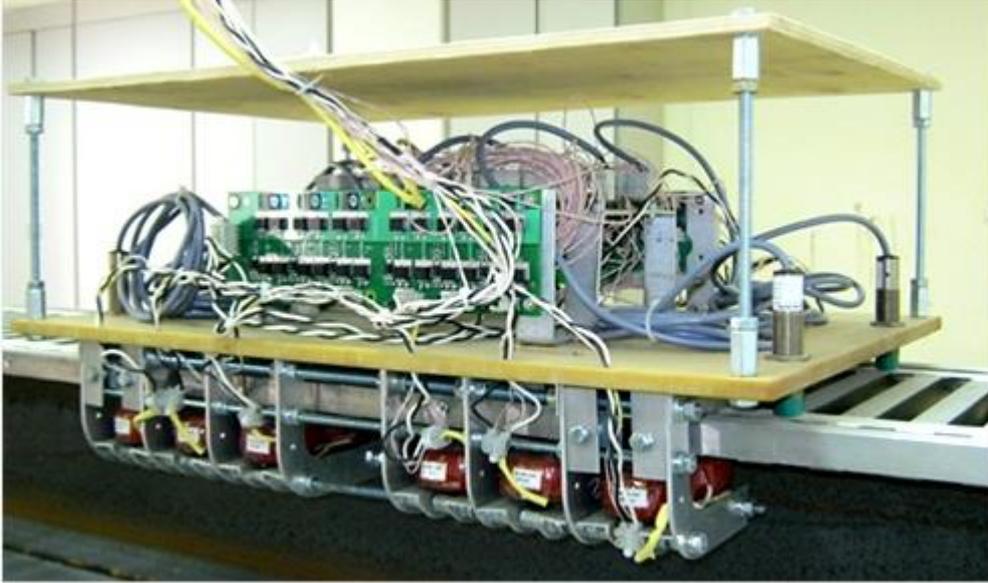


Fig. 6. General view of the physical model

The model has four traction and levitation modules, installed on the transport bogie; a platform on which electrical equipment is installed; additional technological platform on which cargo is installed during experiments.

During the experiments, the model was given a levitation regime. To achieve this, the windings of traction and levitation modules were supplied with DC, adjustable in magnitude as a function of the magnitude of the air gap between the module poles and the track elements. Further, the drive system was started, at which the currents in the phase windings were switched by the signals of the position sensors. The transport platform moved contactlessly along the track structure all this time.

The fig. 7 shows oscillograms of electromechanical processes during transition of traction and levitation system from levitation regime to levitated motion regime. The oscillograms show the phase currents of the modules  $I_{1a}-I_{4c}$ , the signals of the gap sensors  $\delta_1-\delta_4$ , the signals of the position sensors  $D_a, D_b, D_c$ .

The research of the physical model of the transport system has proved its working status [16].

After the research, the construction concept of freight magnetic levitation transport system was proposed for operation in poorly developed areas. The proposed MLTS should have passive guideway structure of flyover type and coupled stock consisting of autonomous platforms for carrying containers. Each

platform is equipped with easily-dismounted traction and levitation modules and electric and chemical energy accumulators. Power supply of the rolling stock may be carried out both from autonomous power plants and contact network. The fig. 8 shows cross-sectional view of the transport platform.

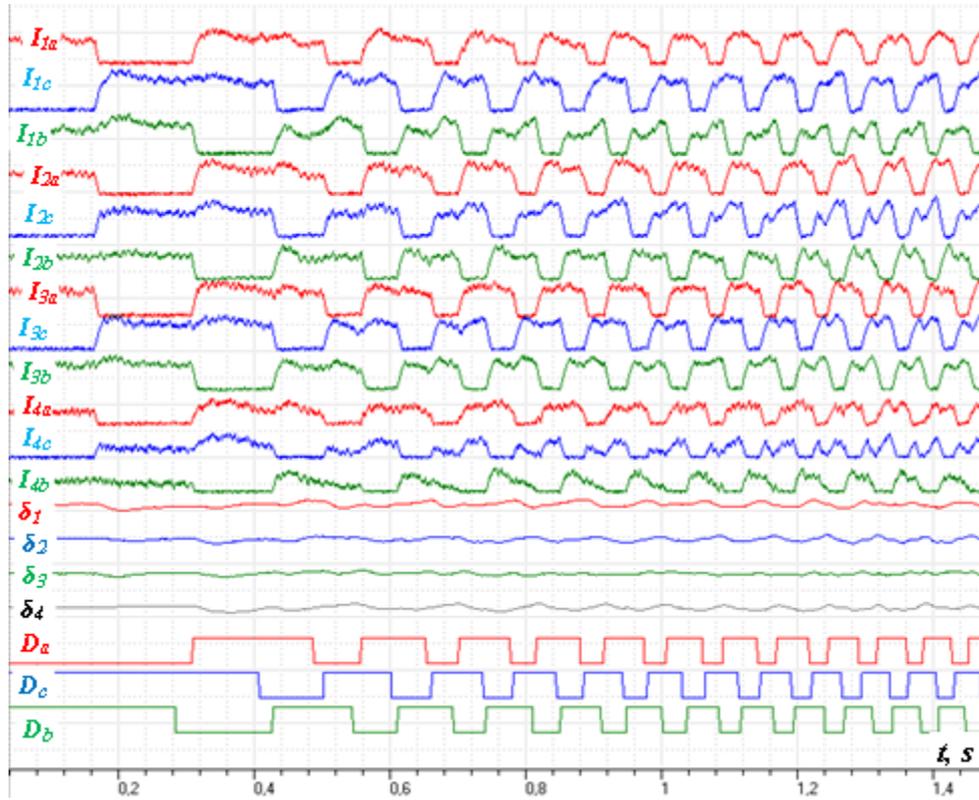


Fig. 7. Electromechanical processes oscillograms

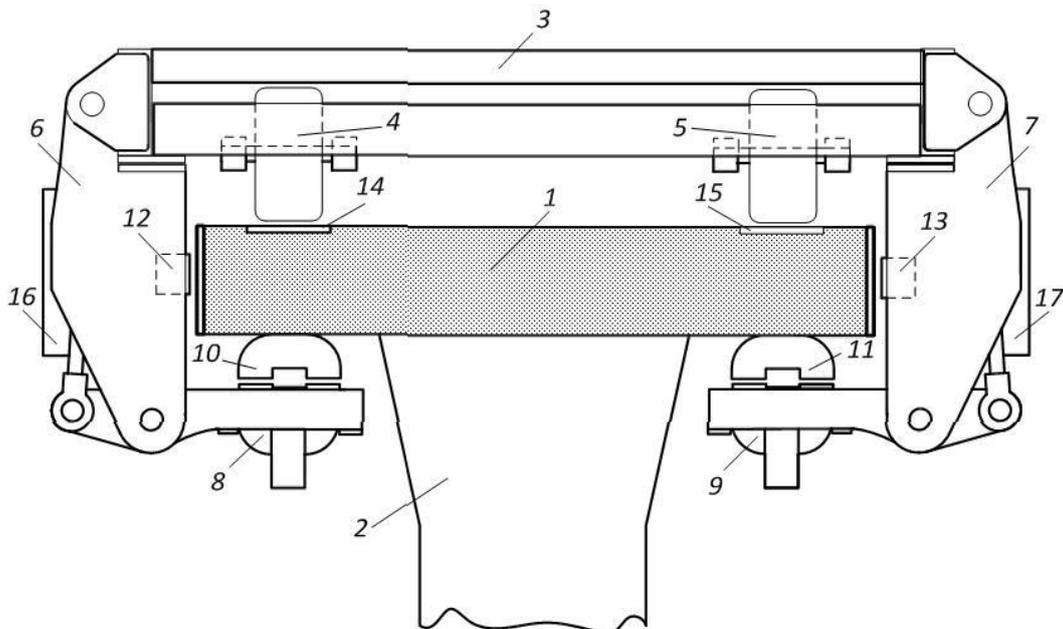


Fig. 8. Cross-sectional view of the transport platform

The fig. 8 shows: guideway 1, resting on support 2; transport platform 3, equipped with wheel blocks 4 and 5 for moving platform along the guideway; transfer units 6 and 7, connecting stators of linear motors 8 and 9 and transport platform 3; rotor elements 10 and 11, installed in a row on the guideway 1 with the step equaling pole pitch of linear motor; rollers 12, 13 limiting lateral displacement of the platform. The surface of the guideway 1 has steel plates 14, 15 which serves as the groove for wheels 4 and 5 of the platform 3.

When current pulses are directed to the windings of the stators of linear motors from the converter devices 16, 17, a force interaction of the U-shaped magnetic circuits of the stator and the rotor occurs via an adjustable air gap. A traction, lifting and lateral stabilising force is created, which is transmitted through the transfer units to the transport platform. This ensures a non-contact motion of the transport platform along the track structure.

A container train consisting of the 22 transport platforms described above with a total mass of 1,800 tonnes can transport 43 units of a 40-pound container at a speed of 180 km / h. The speed of motion of container cargo is not less than 3600 km / day. To realise the designed annual volume of transit container traffic of 1.52 million TEU, it is necessary that container trains follow with an interval of approximately 0.5 hours (49 container trains per day). At the same time, 156 container trains must be simultaneously on the line in both directions. The park of transport platforms should be 3432 units (excluding reserve).

Thus, the proposed concept of constructing a high-speed container train is physically feasible and provides the forecasted annual volume of transit container traffic.

#### **4. Assessment of efficiency of investment project**

The assessment of the efficiency of the investment project was carried out in accordance with the Methodological Recommendations of the Russian Federation. The horizon of project planning is 40 years. The cash flows of projects form the following items of costs: investment costs; operating costs; payments on property tax.

As the main indicators used to calculate the effectiveness of the investment project, the following ones are selected: net income; net present value; internal rate of return; profitability index; index of profitability of discounted investments; payback period.

The annual economic effect is defined as the difference between the cash flows of the corresponding year of the project with the electric locomotive EP20 [17] and the MLTS project with its subsequent discounting.

Indicators of MLTS project are shown in the table 2.

Table 2

Indicator	Value
Net income, million rubles	264 524,4
Net present value, million rubles	7 555,6
Internal rate of return, %	10
Profitability index	2,33
Индекс доходности дисконтированных инвестиций	1,04
Payback period, years	10,1
Discounted payback period, years	26,03

The calculated values of the key performance indicators allow us to conclude that the proposed MLTS project for container transportation is effective. Despite the large amount of initial investment associated with more substantial investments in the MLTS track infrastructure, a significant saving in operating costs leads the project to a positive economic result.

The calculations did not take into account the additional cash flows for the operator associated with the tariff component (from the growth of the productivity ratio), as well as the social aspects of the implementation of this project for the regions of the country in which the project will be implemented. Taking into account such multiplicative effect, the economic feasibility and attractiveness of the project is substantially increased.

## Conclusion

The development of the transport infrastructure of the Russian Federation is connected with the geographical location of the country as a natural transport corridor connecting the European and Asian-Pacific regions. The creation of a high-speed Euro-Asian transport system complies with the directive documents relating to the transport strategy of the Russian Federation for developing the potential of Euro-Asian transport links and transit freight.

The transport system can be implemented on the basis of modern magnetic levitation technology, which allows significant reducing operating costs, and, consequently, transport costs, due to contactless running of the transport platform along the track structure.

The new transport system will facilitate the release of the capacity of railways for freight transport, the direct transfer of cargo between Europe and Asia, and, if properly routed, will ensure the availability of transport services for the transportation of goods in the Far North, Siberia, the Far East and remote regions of Russia.

## References

1. Vladimirov S.A. *Regional economy and management [Regional'naya ekonomika i upravlenie]*, 2016, no. 2 (46). Available at: <http://eee-region.ru/article/4602> (accessed 10.04.2017).
2. Yuyama Y. The Tobu Kyuryo Line (Popular name: Linimo) a Magnetic Levitation System. *The 18th Int. Conf. Magnetically Levitated Systems and Linear Drives*, 26–28 Oct. 2004, Shanghai, China. Available at: [http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2004/topic2/IMT\\_CP\\_M2004\\_T2\\_6.pdf](http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2004/topic2/IMT_CP_M2004_T2_6.pdf) (accessed 10.04.2017).
3. Shanghai Maglev Transrapid Technology. Presentation Siemens AG, 2007. Available at: <http://www.ft.dk/samling/20061/almdel/tru/bilag/361/363482.pdf> (accessed 27.09.2017).
4. Maglev for Urban Transit. Available at: <http://www.discovery.org/scripts/viewDB/filesDB-download.php?command=download&id=950> (accessed 27.09.2017).
5. Wiegand D. *The Int. Maglevboard*. Munich, 2010, pp. 237–245.
6. Superconducting Maglev the World's Fastest Train – Coming to America. Website Company USJMAGLEV 2012. Available at: <http://www.usjmaglev.com/usjmaglev/Home.html> (accessed 10.04.2017).
7. Powell J., Jordan J., Danby G. *The Fight for Maglev: Making America the World Leader in 21st Century Transport*. USA, Create Space, 2012, 402 p.
8. James K. Maglev Freight Conveyor Systems. Available at: [http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2008/topic1/IMT\\_CP\\_M2008\\_T1\\_5.pdf](http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2008/topic1/IMT_CP_M2008_T1_5.pdf) (accessed 10.04.2017)
9. General Atomics. Maglev Technologies. Website Company General Atomics (GA). Available at: <http://www.ga.com/urban-maglev> (accessed 10.04.2017).
10. Antonov Y.F., Zaitsev A.A., Morozova E.I., Khozikov Yu.F. Mag-TransCity technology within the Saint Petersburg Maglev Train Project. *Notice of the Petersburg State Transp. Univ.*, 2013, Is. 4, pp. 5–17.
11. Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030. Available at: [http://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION\\_ID=2203#document\\_19188](http://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION_ID=2203#document_19188) (accessed 10.04.2017)
12. Tennenbaum J. The New Eurasian Land-Bridge Infrastructure Takes Shape, 2001. Available at: [http://www.larouchepub.com/eiw/public/2001/eirv28n42-20011102/eirv28n42-20011102\\_016-the\\_new\\_eurasian\\_land\\_bridge\\_inf.pdf](http://www.larouchepub.com/eiw/public/2001/eirv28n42-20011102/eirv28n42-20011102_016-the_new_eurasian_land_bridge_inf.pdf) (accessed 01.09.2017).
13. The Euro-Asian Transport Links (EATL) project. Available at: <http://www.unece.org/trans/main/eatl.htm> (accessed 10.04.2017).
14. Rarovskiy P.E. *Russian Foreign Econ. Bull.* 2016, no 5, pp. 116–131, Available at: <http://www.rfej.ru/rvv/id/0003F43CB> (accessed 27.09.2017).

15. Kopylenko V.A., Bykov Yu.A., Turbin I.V., Kosmin V.V. *Sci. and Transp. Modernization of Transport Russian Federation*, 2008, no. 4, pp. 4–7.

16. Kireev A.V., Kononov G.N., Lebedev A.V. *Int. J. Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*, 2017, no. 8 (1):176, pp. 176–183.

17. Parkhomenko A. *Railvolution The Prof. Two-Monthly Magazine of Rail Transp. Worldwide*, vol. 12, no. 4/12, pp. 85–92. Available at: <https://library.e.abb.com/public/175cd263dc51cad2c1257a860040bcd2/Railvolution04-12-ABB-Traction-transformers-EP20.pdf> (accessed 10.04.2017).

**Information about the authors:**

Alexander V. KIREEV, Cand. Sci. (Eng), Associate Prof., General Director.

E-mail: akireev@privod-n.ru

Nikolay M. KOZHEMYAKA, Cand. Sci. (Eng), Technical Director.

E-mail: nkozhemyaka@privod-n.ru

Gennadiy N. KONONOV, Lead. Specialist.

E-mail: gkononov@privod-n.ru

Closed Joint-Stock Co. “Scientific-Technical Centre PRIVOD-N”, Novocherkassk

© Kireev A. V., Kozhemyaka N. M.,  
Kononov G. N., 2017