

## Раздел 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

УДК 608.3+69.003

**А. А. Зайцев**

Научно-образовательный центр  
инновационного развития пассажирских железнодорожных перевозок  
Петербургского государственного университета путей сообщения  
Императора Александра I

### **ГРУЗОВАЯ ТРАНСПОРТНАЯ ПЛАТФОРМА НА МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОЙ ОСНОВЕ: ОПЫТ СОЗДАНИЯ**

Дата поступления 21.10.2015

Решение о публикации 01.11.2015

Дата публикации 22.12.2015

**Аннотация:** Петербургскими учеными разработана инновационная технология, позволяющая формировать магнитное поле, которое обеспечивает левитацию контейнера массой 28 тонн с рабочим зазором 25 мм. Благодаря этой разработке стало возможным создание грузовой магнитолевитационной транспортной платформы. Уникальная технология изготовления магнитных полюсов левитации, боковой стабилизации и линейной тяги на основе простых и эффективных схем сборки позволила достичь высоких значений магнитных полей. Экспериментально установлено, что на расстоянии 5 см от полюсов магнитное поле соответствует естественному фону.

Грузовая магнитолевитационная транспортная платформа – основа для создания экологически чистого, малозумного, безопасного, не зависящего от климатических и погодных условий эксплуатации многофункционального грузового транспорта. Левитация обеспечивается на стоянках, участках разгона и торможения, а также в режиме движения. Научные и практические разработки технологии создания грузового магнитолевитационного транспорта, выполненные учеными ПГУПС, не имеют аналогов в мире.

Уникальная технология стала основой для разработки проекта инновационной транспортно-логистической системы. Данная система ориентирована на широкий диапазон потребителей, так как отсутствуют жесткие ограничения по массе, габаритам и другим требованиям к подвижному составу.

Для реализации проекта создания транспортно-логистической системы предлагается строительство первой в мире грузовой магнитолевитационной трассы от Санкт-Петербурга до Москвы. Новая магистраль способна обеспечить надежную транспортную связь между портами Финского залива и грузовыми терминалами столицы.

**Ключевые слова:** грузовая магнитолевитационная транспортная платформа; высокоэнергетические постоянные магниты; транспортно-логистическая система; магнитолевитационная трасса.

**A. A. Zaitsev**

Scientific and Education Center

of Innovative Development of Passenger Rail Transportation

Petersburg State Transport University Emperor Alexander I

CARGO-CARRYING TRANSPORT PLATFORM BASED ON MAGNETIC  
LEVITATION: EXPERIENCE OF CREATION

**Abstract:** The North of Russia in the short term remains not captured high-speed movement. Such situation can be rectified by application magnetic and levitation technologies, and so string trestle technologies. However, the careful ecological and economic reasoning, and also adaptation of constructive elements and technologies to North conditions has to precede use of such technologies.

For development of the railway high-speed communication it is necessary to create rings of the high-speed movement. Thus the cellular network structure which is much more effective existing treelike, taking place in the Komi Republic, the Arkhangelsk and Murmansk areas will be initially formed.

Container message of trestle type Ivdel – Indiga about 1100 km long can become possible application of magnetic and levitation technology in the north of Russia. From Ivdel the container highway can be continued in the southern direction to border with China.

At the organization of the high-speed movement it is necessary to divide passenger and cargo transport streams. If to execute passenger modules in the form of individual vehicles (four-five-seater), elements of infrastructure will be less expensive. The sizes and loading capacity of containers for high-speed transportations can be also reduced.

Developers of string transport systems actively study questions of design of transport modules of various mission, creation of low-cost transport infrastructure.

In the conditions of the North of Russia development of transport system which would combine advantages of magnetic and levitation and string transport is of interest. Stability of such system can be provided when using effect of «a magnetic potential hole».

Implementation of large transport projects of the high-speed movement in the Russian Federation can promote strengthening international cooperation and be carried out on its basis.

**Keywords:** high-speed highways, railway high-speed communication, magnetic and levitation technologies, string trestle transport technologies, North of Russia.

## **Введение**

Современная транспортно-логистическая система вследствие несовершенства логистических и транспортных технологий, а также существующих инфраструктурных ограничений не отвечает в полной мере требованиям участников транспортного процесса к скорости и стоимости перевозок, спектру и качеству предоставляемых услуг.

Проблемы, связанные с грузовыми перевозками в России, сегодня стоят наиболее остро. Рост грузооборота в стране происходит в основном за счет автомобильных перевозок, приводящих к перегруженности автомобильных трасс, повышению аварийности на дорогах, усугублению экологических проблем.

Доставка грузов по железной дороге осуществляется по маршрутам, далеким от оптимальных. Удлинение маршрута следования грузов связано с ограничениями пропускной способности инфраструктуры. Наличие «узких» мест на некоторых направлениях приводит к тому, что протяженность маршрута транспортировки контейнеров увеличивается вдвое. Сроки доставки грузов возрастают, что повышает потребность в инвестициях в оборотный капитал предприятий и увеличивает издержки.

Обозначенные проблемы требуют принятия решений, которые основаны на применении инновационных технологий, способствующих повышению скорости грузоперевозок, транспортной и экологической безопасности. Одно из таких решений – применение магнитолевитационной технологии для создания новой транспортно-логистической системы (ТЛС).

### **Характеристика транспортно-логистической системы**

Инновационная ТЛС формируется на основе строительства магнитолевитационной магистрали и внедрения современных логистических технологий.

Основные конкурентные преимущества ТЛС при осуществлении грузовых перевозок складываются из следующих критериев:

- 1) себестоимость доставки;
- 2) срок доставки;
- 3) сохранность грузов;
- 4) ритмичность перевозок.

Специалистами ПГУПС проведена оценка целесообразности реализации проекта создания ТЛС, использующей технологию магнитной левитации, с целью обслуживания контейнерных потоков между морскими портами Санкт-Петербурга, Ленинградской области и транспортно-логистическими центрами Москвы.

На рассматриваемом маршруте магнитолевитационный, железнодорожный и автомобильный транспорт обладают следующими конкурентными характеристиками (табл. 1).

**Таблица 1**

**Конкурентные характеристики различных видов транспорта [6]**

Конкурентная характеристика	Вид транспорта		
	Магнито-левитационный	Железнодорожный	Автомобильный
Себестоимость доставки (1 TEU по маршруту Усть-Луга – Белый Раст)	10 433,22 руб. (аналогичная себестоимость для 1 FEU = 2 TEU)	28 790,33 руб.	12 034,41 руб.
Срок доставки	2–3 ч	2–3 сут.	20 ч
Сохранность грузов	Высокая	Высокая	Средняя
Ритмичность перевозок	Отправление по формированию состава	Отправление по формированию состава	Отправление по готовности груза
Безопасность перевозки	Высокая	Средняя	Невысокая
Экологическая безопасность ТЛС	Высокая	Средняя	Низкая

Очевидно, что существующие на рынке грузоперевозок предложения значительно уступают проектируемому виду транспорта по стоимости и срокам. Сравнительные характеристики подтверждают конкурентноспособность магнитолевитационного транспорта.

В проекте ТЛС определены следующие основные параметры ее работы:

- пропускная способность линии в одном направлении – 2500 ед. в год;
- режим работы линии – круглосуточно;
- средняя скорость грузовой платформы – 250 км/ч;
- время в пути одной платформы – 3 ч;
- количество грузовых платформ, одновременно находящихся на одной линии – 341 ед.;
- динамика разгона (торможения) –  $2 \text{ м/с}^2$ .

Провозная способность магнитолевитационной магистрали существенно выше аналогичного показателя для железнодорожной и автомобильной инфраструктуры; погрузка одного контейнера, включающая подачу и уборку вагона, осуществляется менее чем за одну

минуту.

Путевая структура маглева – в т.ч. кабели электроснабжения, системы сигнализации и связи – располагается на эстакаде.

Дополнительным преимуществом такого расположения инфраструктуры является небольшая (до семи раз меньшая, чем для железнодорожного полотна) ширина полосы землеотвода.

Необходимо отметить, что маглев не имеет жестких ограничений по габаритам подвижного состава, в связи с чем его функциональность в перевозке различных видов груза значительно шире, чем у традиционных видов транспорта [2].

### **Разработка грузовой магнитолевитационной транспортной платформы**

Ключевым моментом, определяющим реальную возможность реализации проекта, стало создание грузовой магнитолевитационной транспортной платформы (ГМЛТП). Учеными ПГУПС при поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» разработана технология, позволяющая формировать магнитное поле, обеспечивающее левитацию массы 32 тонны на квадратный метр сборки из элементарных магнитов.

Эффект магнитной левитации продемонстрирован на полномасштабном образце ГМЛТП (рис. 1, 2), оснащенной секцией линейного синхронного двигателя.

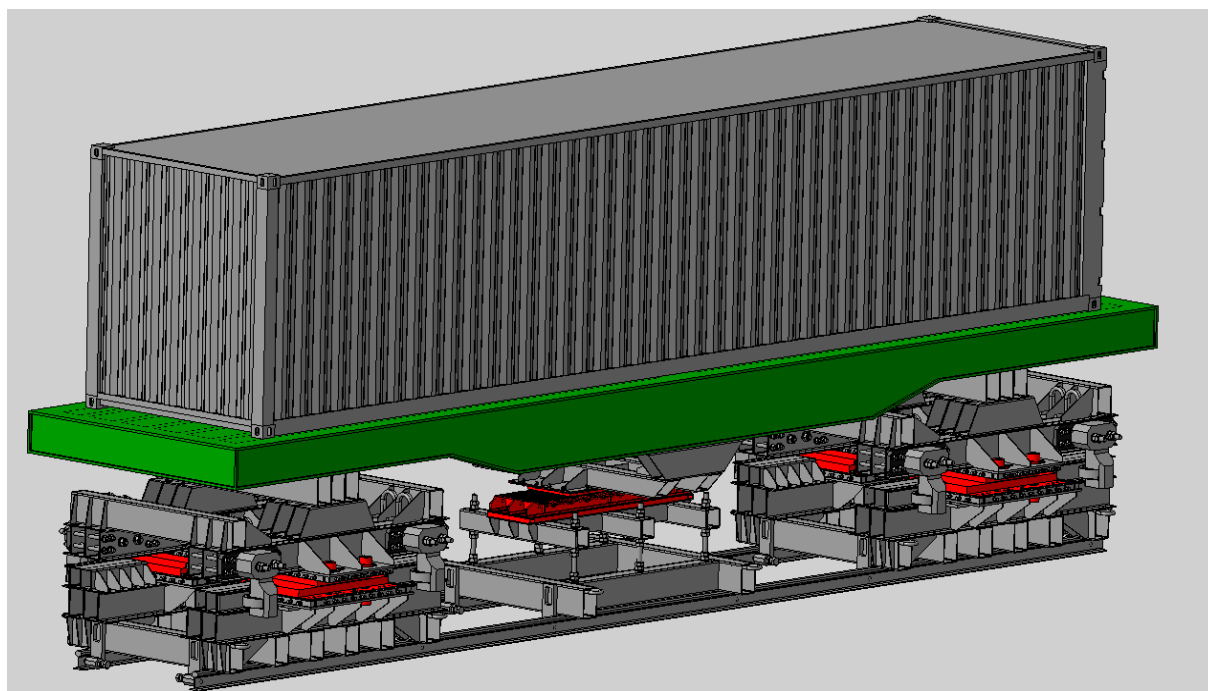


Рис. 1. Грузовая магнитолевитационная транспортная платформа



Рис. 2. Фото полномасштабного образца грузовой магнитолевитационной транспортной платформы

Основные характеристики ГМЛТП:

- грузоподъемность – 40 т (контейнер ИСО серии 1: 1AAA, 1AA,1A);
- ускорение –  $2 \text{ м/с}^2$ ;
- тяга – линейный синхронный двигатель;
- мощность двигателя – 280 кВт;
- подъемная сила – 65 кН;
- зазор левитации – 25 мм.

ГМЛТП состоит из следующих узлов:

- типовая фитинговая платформа, оснащенная бортовым магнитным полюсом ЛСД;
- две несущие тележки, оснащенные бортовыми магнитными полюсами левитации;
- активная путевая структура со стационарными магнитными полюсами левитации;
- статор ЛСД, уложенный вдоль активной путевой структуры;
- страховочные ограничители перемещения;
- система питания ЛСД.

В ходе испытаний ГМЛТП продемонстрирована практическая осуществимость основных систем – левитации и линейной тяги. Согласно протоколу испытаний, при нагрузке 28 т левитационный зазор составляет 25 мм при нулевой скорости и при перемещении на расстояние 60 см. Полученные параметры согласуются со значениями, которые установлены экспериментально при испытании на нагрузку четырех штатных магнитных модулей левитации.

## **Технологические особенности технологии «МагТранСити»**

Перманентная левитация. Во время стоянки и перемещения в депо и на экипировочные участки, а также на всем участке пути следования транспортное средство может находиться и двигаться в режиме левитации.

Большой рабочий зазор (клиренс) – до 100 мм и выше.

Эффективная боковая стабилизация.

Сборка бортового энергетического оборудования из автономных унифицированных узлов позволяет формировать транспортные средства любого состава и назначения.

Унификация элементов несущей конструкции. Возведение эстакад, мостов и т. д. из типовых блоков ускоряет и удешевляет строительные работы [1]. Несущая конструкция возводится без применения бульдозеров и экскаваторов.

С целью создания научно-технического задела в области грузовых транспортных систем на основе магнитной левитации специалистами ПГУПС выполнен цикл фундаментальных исследований по разработке отечественной магнитолевитационной транспортной технологии:

1) магнитолевитационная технология как транспортная стратегия высокоскоростного движения;

2) фундаментальные исследования перманентной левитации и разработка технических средств обеспечения функциональной связи дискретно-конвейерных и магистрально-высокоскоростных грузовых транспортных систем;

3) разработка малогабаритной системы накопления и преобразования энергии транспортной единицы на магнитном подвесе;

4) исследование и разработка пространственных вычислительных моделей активных и пассивных элементов системы левитации и боковой стабилизации, обеспечивающей устойчивость транспортного средства в замкнутом и открытом пространствах;

5) разработка и испытание унифицированного сверхпроводникового модуля для систем магнитной левитации, боковой стабилизации и линейной тяги грузового транспортного средства.

В настоящее время получены патенты на следующие изобретения:

1) способ активации высокотемпературных сверхпроводников в области криогенных температур ниже критического значения и устройство для его осуществления;

2) устройство магнитной левитации транспортного средства;

3) катальная гора с магнитолевитационным транспортным средством;

4) устройство магнитной левитации и поперечной стабилизации

транспортного средства;

5) устройство преобразования электрической энергии;

6) электролизер.

В Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС) подано пять новых заявок на изобретения.

### Строительство магнитолевитационной трассы

Реализация проекта создания ТЛС на магнитолевитационной основе возможна при строительстве трассы в коридоре высокоскоростной магистрали (ВСМ) Санкт-Петербург – Москва (рис. 4). Потребность в площадях под полосу отвода существенно меньше требуемого для классической железной дороги, что позволяет организовать подходы к портам и транспортно-логистическим центрам (ТЛЦ). Основные инфраструктурные ограничения связаны с организацией внутренней логистики на портовых территориях и территориях ТЛЦ.



Рис. 3. Схема предполагаемой магнитолевитационной трассы



Магнитолевитационная трасса между Москвой и Санкт-Петербургом может стать головным участком транспортной системы «Север – Юг», «Запад – Восток».

## **Выводы**

Реализация проекта создания ТЛС на магнитолевитационной основе имеет преимущества перед железной дорогой и автотранспортом:

- более высокая скорость перемещения с возможностью существенного увеличения скоростей в эксплуатационном режиме;
- быстрое ускорение и короткий тормозной путь, что повышает динамичность и безопасность движения;
- отсутствие контакта с инфраструктурой, в результате чего разрушающее воздействие отсутствует, срок службы инфраструктуры и подвижного состава увеличивается;
- исключение схода поезда с пути за счет особенностей технологии;
- высокая экологическая безопасность (пониженный уровень шума, малые вихревые потоки, низкое негативное воздействие на окружающую среду);
- высокая приспособленность к ландшафту (преодоление подъема: маглев – 10%, ВСМ – 4%; поворот на скорости 300 км/ч: маглев – 1 950 м пути, ВСМ – 3 200 м);
- энергоэффективность (потребление электроэнергии в 1,5 раза ниже, чем для ВСМ, за счет отсутствия контакта с инфраструктурой, более высокого КПД двигателя).

Разработка ГМЛТП подтвердила возможность реализации проекта создания ТЛС на магнитолевитационной основе.

## **Библиографический список**

1. Зайцев А. А., Талашкин Г. Н., Соколова Я. В. Транспорт на магнитном подвесе – СПб.: ПГУПС, 2010. – 159 с.
2. Зайцев А. А. Многопрофильная программа развития магнитолевитационного транспорта в России. // Тр. I междунар. науч. конф. «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии», ПГУПС – СПб: ООО PUDRA, 2013. – С. 8–14.
3. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология. – М.: Физматлит, 2014. – 476 с.

4. Антонов Ю. Ф., Данилевич Я. Б. Криотурбогенератор КТГ-20: опыт создания и проблемы сверхпроводникового электромашиностроения. – М.: Физматлит, 2013. – 600 с.
5. Морозова Е. И. К вопросу создания единой конвейерно-магистральной системы на основе магнитной левитации. // Тр. I междунар. науч. конф. «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии», ПГУПС – СПб: ООО PUDRA, 2013. – С. 105–108.
6. Морозова Е. И. Техничко-экономические аспекты контейнерного маршрута «Большой порт» Санкт-Петербург – «Сухой порт» Москва. // Сборник докладов II Междунар. научно-практич. конф. «Развитие экономической науки на транспорте: НОВЫЕ РЕШЕНИЯ» – СПб: ПГУПС, 2014. – С. 296–301.
7. Kazuo Sawada. Technological Development of the Superconducting Magnetically Levitated Train / Kazuo Sawada // Japan. railway engineer. – 2008. – № 160. – С. 2–5.
8. Rodd D. Technical and economic comparison of high-speed-rail and maglev systems / D. Rodd // Railway Technical Review. – 2006. – № 1. – P. 8–18.
9. JR-Maglev [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.en.wikipedia.org/wiki/JR-Maglev](http://www.en.wikipedia.org/wiki/JR-Maglev) (дата обращения: 09.02.2015).

## References

1. Zaitsev A. A., Talashkin G. N., Sokolova Ya. V. *Transport na magnitnom podvese* [Magnetic suspension transport]. St. Petersburg, 2010. 159 p.
2. Zaitsev A. A. *Mnogoprofil'naya programma razvitiya magnitolevitacionnogo transporta v Rossii* [Multidisciplinary program for the development of magnet levitation transport in Russia]. *Trudy 1-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Magnitolevitacionnyye transportnye sistemy i tekhnologii"* (Works 1<sup>st</sup> Int. Sc. Conf. "Magnetic and levitation transport systems and technologies"). St. Petersburg, 2013, pp. 8-14.
3. Antonov Yu. F., Zaitsev A. A. *Magnitolevitacionnaya transportnaya tekhnologiya* [Magnet levitation transport technology]. Moscow, 2014. 476 p.
4. Antonov Yu. F., Danilevich Ya. B. *Krioturbogenerator KTG-20: opyt sozdaniya i problemy sverhprovodnikovogo ehlektromashinostroeniya* [Cryoturbogenerator CTG-20: experience and problems of creating superconducting electrical engineering]. Moscow, 2013. 600 p.
5. Morozova E. I. *K voprosu sozdaniya edinoj konvejerno-magistral'noj sistemy na osnove magnitnoj levitacii* [The question of creating a unified conveyor-line system based on magnetic levitation]. *Trudy 1-j Mezhdunarodnoj*

*nauchnoj konferencii “Magnitolevitationnyye transportnye sistemy i tekhnologii”* (Works 1<sup>st</sup> Int. Sc. Conf. “Magnetic and levitation transport systems and technologies”). St. Petersburg, 2013, pp. 105-108.

6. Morozova E. I. Tekhniko-ehkonomicheskie aspekty kontejnernogo marshruta “Bol’shoj port” Sankt-Peterburg – “Suhoj port” Moskva [Technical and economic aspects of the container route “Big Port” of St. Petersburg – “Dry port” Moscow]. *Sbornik dokladov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii “Razvitie ehkonomicheskoy nauki na transporte: NOVYE RESHENIYA”* (Digest of reports 2<sup>nd</sup> Int. Sc. and Pract. Conf. «Development economics in transport: new solutions»). St. Petersburg, 2014, pp. 296-301.

7. Kazuo Sawada *Japan. railway engineer*, 2008, no. 160, pp. 2-5.

8. Rodd D. *Railway Technical Review*, 2006, no. 1, pp. 8-18.

9. *JR-Maglev* URL: <http://www.en.wikipedia.org/wiki/JR-Maglev> (09/02/2015).

**Сведения об авторе:**

ЗАЙЦЕВ Анатолий Александрович, профессор, доктор экономических наук, руководитель Научно-образовательного центра инновационного развития пассажирских железнодорожных перевозок Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I»  
E-mail: nozpgups@gmail.com

**Information about author:**

Anatoly A. ZAITSEV, Professor, Doctor of Economics, Head of Research and Education Centre of innovative development of passenger rail Federal State Institution of Higher Professional Education “Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I”  
E-mail: nozpgups@gmail.com