

С. А. Смирнов, О. Ю. Смирнова

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИДОВ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА
ДЛЯ МАССОВЫХ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК**

Дата поступления 07.09.2017

Решение о публикации 30.11.2017

Рассматриваются различные виды наземного транспорта для регулярных массовых грузовых перевозок. Оценивается их эффективность на основе стоимостных, эксплуатационных и экологических характеристик.

Введение. Чтобы обеспечить регулярные массовые грузовые перевозки между Юго-Восточной Азией и Европой, необходимо эффективно использовать различные виды наземного транспорта, новейшие достижения в технике и технологиях, повышать скорость грузовых перевозок на дальние расстояния и увеличивать их экологичность и безопасность.

Анализ. Стоимостные характеристики различных видов транспорта для массовых грузовых перевозок показывают, что самая низкая стоимость инфраструктуры – у традиционного железнодорожного транспорта; наименьшая себестоимость перевозок обеспечивается магнитолевитационным транспортом на постоянных магнитах по технологии «РосМаглев»; наименьшую коммерческую выгоду на современном уровне развития техники и технологии предлагает вакуумный транспорт.

По эксплуатационным характеристикам лидирует проект «РосМаглев», наименьшая эффективность достигается при использовании вакуумного транспорта.

С точки зрения экологичности и безопасности перевозок железнодорожный транспорт за последние десятилетия добился существенного прогресса. Однако более экологичными оказываются магнитолевитационный и вакуумный виды транспорта, что обусловлено отсутствием от них выбросов и иных видов загрязнения, в том числе шумовых.

В области безопасности магнитолевитационный транспорт является самым конкурентоспособным, вакуумный – наиболее опасным.

Результаты. Для массовых грузовых перевозок транспортом будущего, по мнению авторов, является магнитолевитационный на постоянных магнитах по российской технологии «РосМаглев», позволяющей существенно оптимизировать затраты на строительство инфраструктуры. Второе место можно отдать традиционному железнодорожному транспорту. Однако при невысоком объеме спроса на перевозки и при внедрении энергоэффективного тягового подвижного состава высокоскоростной грузовой железнодорожный транспорт может составить конкуренцию, особенно в странах с развитой сетью высокоскоростных магистралей. Последнее место уверенно занимает вакуумный транспорт.

Выводы. Целесообразность внедрения магнитолевитационного транспорта для массовых грузовых перевозок очевидна. Используемые в настоящее время в различных странах мира технологии для перемещения пассажиров, базирующиеся на магнитной левитации, уже зарекомендовали себя как выгодные, безопасные и удобные. Техническая «зрелость» таких технологий позволяет учесть все достижения при возведении магнитолевитационных линий для грузового движения, что весьма перспективно в свете острой необходимости поиска альтернативных морским способом перевозок.

Железнодорожный транспорт, высокоскоростная магистраль, магнитолевитационный транспорт, вакуумный транспорт, струнный транспорт, регулярные грузовые перевозки, стоимость, эксплуатационные характеристики, экологичность, безопасность, перспективы внедрения, технология «РосМаглев».

Введение

В современном мире прочно устоялись географические центры производства и потребления. Первый расположен в Юго-Восточной Азии и включает Китай, но не ограничивается им, второй – в Европе, преимущественно в ее западной части. На протяжении многих лет наблюдается устойчивый товарооборот между этими регионами, в последние годы показывающий рост. В связи с необходимостью обеспечить регулярные массовые грузовые перевозки между Юго-Восточной Азией и Европой актуален вопрос эффективности использования различных видов наземного транспорта.

Несмотря на значительно более интенсивный поток грузов из стран Юго-Восточной Азии в Европу, их перемещение в обратном направлении также имеет место (рис. 1). Снижение объемов товарооборота в результате мирового экономического кризиса, наблюдающегося с 2008 г., не смогло переломить общую тенденцию, что косвенно подтверждается активной проработкой проектов Шелкового пути, Шелкового ветра и им подобных со стороны Китая.

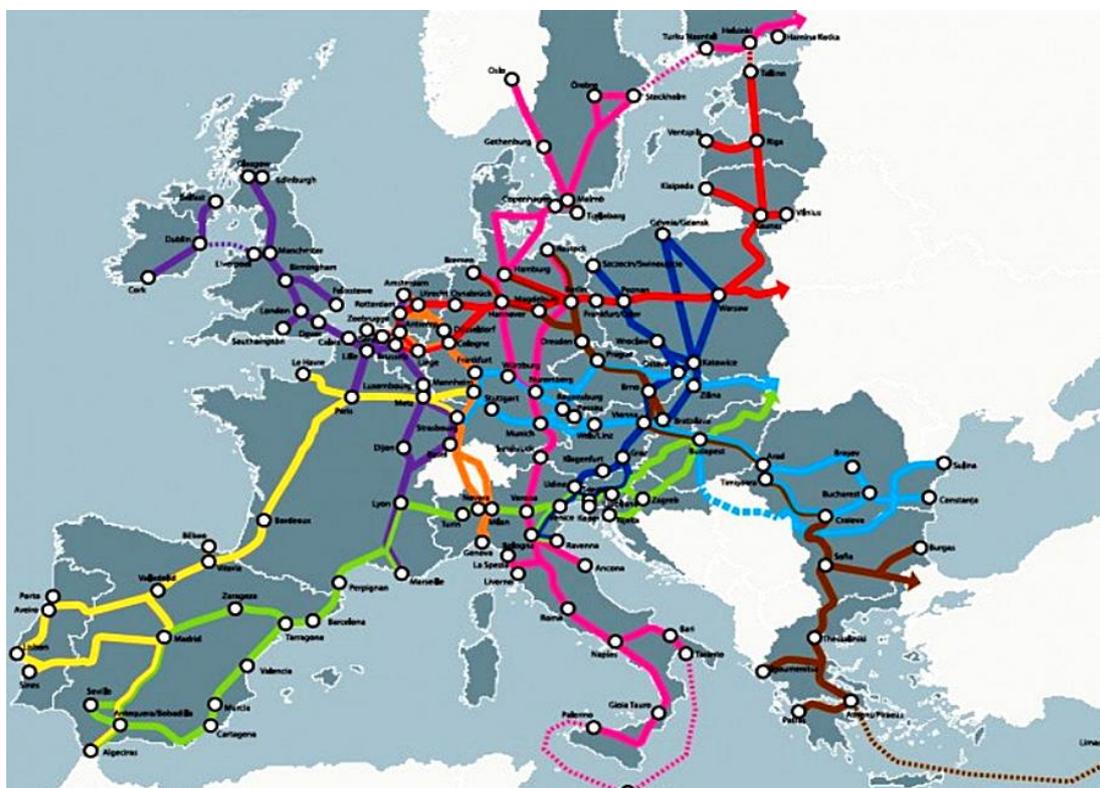


Рис. 1. Мировые транспортные потоки

Наиболее емкий по грузообороту маршрут – Deep Sea (Южный морской путь), проходящий через Суэцкий канал, – не отвечает условиям ускорения движения товарно-денежной массы (рис. 2). Это открывает возможности для разработки новых видов транспорта и новых способов транспортировки [1].



Рис. 2. Маршруты Северного и Южного морского пути

В европейских странах, несмотря на относительно низкую протяженность маршрутов грузовых перевозок, также возникла потребность в прорывных технологиях грузоперевозок. С одной стороны, она объясняется экологическими мотивами. С другой стороны, ряд стран, в том числе Швейцария, нуждаются в повышении эффективности транзита через собственную территорию. Со стороны стран Южной Европы, в свою очередь, возникает запрос на повышение скорости грузовых перевозок на дальние расстояния – в страны Северной и Восточной Европы, в Россию.

Анализ

Исходя из нынешнего уровня развития техники и технологий, а также перспектив их развития для сравнения эффективности использования для массовых грузовых перевозок, определены следующие виды транспорта:

- традиционный железнодорожный;
- высокоскоростной железнодорожный (ВСМ);

- магнитолевитационный (на электромагнитном подвесе, электродинамическом подвесе, на основе постоянных магнитов);
- вакуумный;
- струнный.

Эффективность видов транспорта оценивали по следующим параметрам:

- 1) стоимостные характеристики (детализация стоимости строительства инфраструктуры, себестоимость перевозок);
- 2) эксплуатационные характеристики;
- 3) экологические характеристики и безопасность.

Стоимость строительства инфраструктуры железнодорожного транспорта зависит от условий строительства и местных условий. Так, в России стоимость строительства новой неэлектрифицированной линии начинается от 500–600 млн руб. за 1 км пути. Электрификация линии добавляет более 30 % к указанной стоимости.

Себестоимость грузовых перевозок традиционным железнодорожным транспортом на российских железных дорогах в действующих ценах не превышает 600 коп. за 10 ткм [2].

Затраты на сооружение пассажирских ВСМ существенно выше. Так, стоимость строительства магистрали между Москвой и Петербургом ВСЖМ-1 по каждому из двух вариантов финансирования составляет более 1 трлн руб., или 1,52 млрд руб. за 1 км пути (на 2012 г.) [3], магистрали Москва – Казань ВСМ-2 – 1,26 трлн руб., или 1,64 млрд руб. за 1 км пути (на 2017 г.) [4].

Затраты на ВСМ, предназначенные для регулярных грузовых перевозок, превышают указанные значения, однако точных цифр нет, поскольку реальные проекты находятся в стадии разработки. Наибольший интерес к данному виду перевозок проявляет Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»), а также Итальянская железнодорожная ассоциация инженеров [2, 5]. Проведя параллели с пассажирским движением, можно утверждать, что проект грузовой ВСМ будет иметь более высокую себестоимость перевозок по сравнению с традиционной железной дорогой [6].

Стоимость строительства магнитолевитационной магистрали для разных проектов имеет разброс от 500 млн руб. до 1,4 млрд руб. за 1 км пути. Более дорогими являются линии, в которых для левитации применяются постоянные магниты, в силу значительной стоимости последних как несущего элемента инфраструктуры. Наиболее дешевыми здесь выступают проекты легкого пассажирского транспорта на электромагнитном или электродинамическом подвесе.

Особенностью линий, основанных на магнитной левитации, является возможность их эстакадного исполнения, в результате их инфраструктура

может быть разделена на активную и пассивную. Пассивная часть инфраструктуры является аналогом неэлектрифицированной железнодорожной линии [7, 8]. Так, Научно-образовательный инженерный кластер «Российский Маглев» («РосМаглев») стоимость 1 км пассивной инфраструктуры для магнитолевитационных магистралей оценивает менее чем в 450 млн руб., что сопоставимо со стоимостью 1 км пути по «Проекту “Белкомур”» [9, 10]. Общая же стоимость 1 км пути проекта «РосМаглев» соответствует 1 млрд руб. за счет применения инновационных решений в области постоянных магнитов [11].

В отношении проектов магнитной левитации следует рассмотреть отдельно технологию на постоянных магнитах и остальные технологии.

Подвесы электродинамический (Maglev, Япония) и электромагнитный (Transrapid, Китай) не применяются в грузовых перевозках. Более того, серьезных разработок в данной области не проводилось, так как укрупненные расчеты показали, что энергозатраты на создание и поддержание левитации будут неоправданно высокими. В противоположность упомянутым технологиям, постоянные магниты обеспечивают перманентную левитацию, что компенсируется излишне высокой стоимостью инфраструктуры. Решение данной проблемы в российских условиях позволило выйти на расчетную величину эксплуатационных расходов на 24 % ниже традиционной железной дороги [11–13].

Стоимость строительства вакуумной магистрали включает в себя затраты на строительство магнитолевитационной линии и на возведение устройств для создания и поддержания технического вакуума. К таким устройствам относятся форвакуумные насосы, геттеры или высоковакуумные насосы. Экономическая оценка создания и поддержания вакуума отсутствует, при этом, по мнению специалистов, для протяженной трубы высокого диаметра такие затраты будут очень высокими.

Строительство 1 км трассы струнного транспорта оценивается на уровне 800 млн руб. без учета проектных работ под один путь в условиях опытного полигона. Себестоимость перевозок струнным транспортом не определена. Задекларировано снижение эксплуатационных расходов в 2 раза по сравнению с традиционным железнодорожным транспортом, однако информации об эксплуатационных расходах для грузовой линии нет. Учитывая конструктивные особенности струнного транспорта, можно прогнозировать высокие затраты на инспекцию и техническое обслуживание линии [14].

Резюмируя стоимостные характеристики использования различных видов транспорта для массовых грузовых перевозок, можно сделать следующие выводы:

- самая низкая стоимость инфраструктуры характерна для традиционного железнодорожного транспорта;

- наименьшая себестоимость перевозок обеспечивается магнитолевитационным транспортом на постоянных магнитах по технологии «РосМаглев»;

- наименьшую коммерческую выгоду на современном уровне развития техники и технологии предлагает вакуумный транспорт.

Вопрос эксплуатационных характеристик железнодорожного транспорта глубоко проработан. В США и Канаде курсируют составы длиной свыше 100 вагонов, каждый из которых несет по 2 контейнера. Инфраструктура и сами вагоны рассчитаны на скорости 140 и выше км/ч. Однако суточная скорость доставки грузов по-прежнему невысока. Например, в проекте «Трансиб за семь суток» ставится амбициозная цель – проходить 1400 км за 1 сутки [15].

Итальянский проект грузовой ВСМ предполагает достижение скорости 250 км/ч. Однако при этом длина состава не превышает 16 вагонов с 2 контейнерами на каждом [5].

В эксплуатационные характеристики проекта «РосМаглев» заложена длина состава 71 условный вагон, что соответствует максимальной длине состава на российских железных дорогах. Каждая транспортная единица способна нести морской контейнер. При этом рациональная длина поезда зависит от тормозного пути состава. При планируемой по проекту «РосМаглев» скорости 250 км/ч эта величина превышает 3 км. Технологически скорость может быть увеличена до 500 км/ч, однако используемая сегодня тара (контейнеры) не способна выдерживать действия возникающих сил.

Проекты вакуумного транспорта, в частности, Hyperloop, предполагают движение единичных транспортных средств, что технологически неэффективно. Кроме того, на заявленных скоростях (до 1000 км/ч) возникает обозначенная проблема целостности контейнеров. Эксплуатация же на скорости 250 и ниже км/ч не требует создания вакуумного пространства, что ставит под сомнение целесообразность проектов вакуумного транспорта в целом [16].

По эксплуатационным характеристикам на лидирующих позициях оказывается проект «РосМаглев», наименьшая эффективность достигается при использовании вакуумного транспорта.

С точки зрения экологичности и безопасности перевозок железнодорожный транспорт за последние десятилетия добился существенного прогресса. Однако более экологичными оказываются магнитолевитационный и вакуумный виды транспорта, что обусловлено отсутствием от них выбросов и иных видов загрязнения, в том числе шумовых.

В области безопасности магнитолевитационный транспорт является самым конкурентоспособным, особенно по сравнению с вакуумным. Это связано с тем, что в искусственной вакуумной среде существуют повы-

шенные риски из-за скачка плотности среды. При малейшем нарушении концентрации частиц газа перед транспортной единицей возникает своеобразная стена, с которой происходит столкновение. При существующем уровне развития техники и технологий вакуумный транспорт становится наиболее опасным из всех рассмотренных видов наземного транспорта.

Результаты

Сравнительная характеристика эффективности видов наземного транспорта для массовых грузовых перевозок представлена на рис. 3.

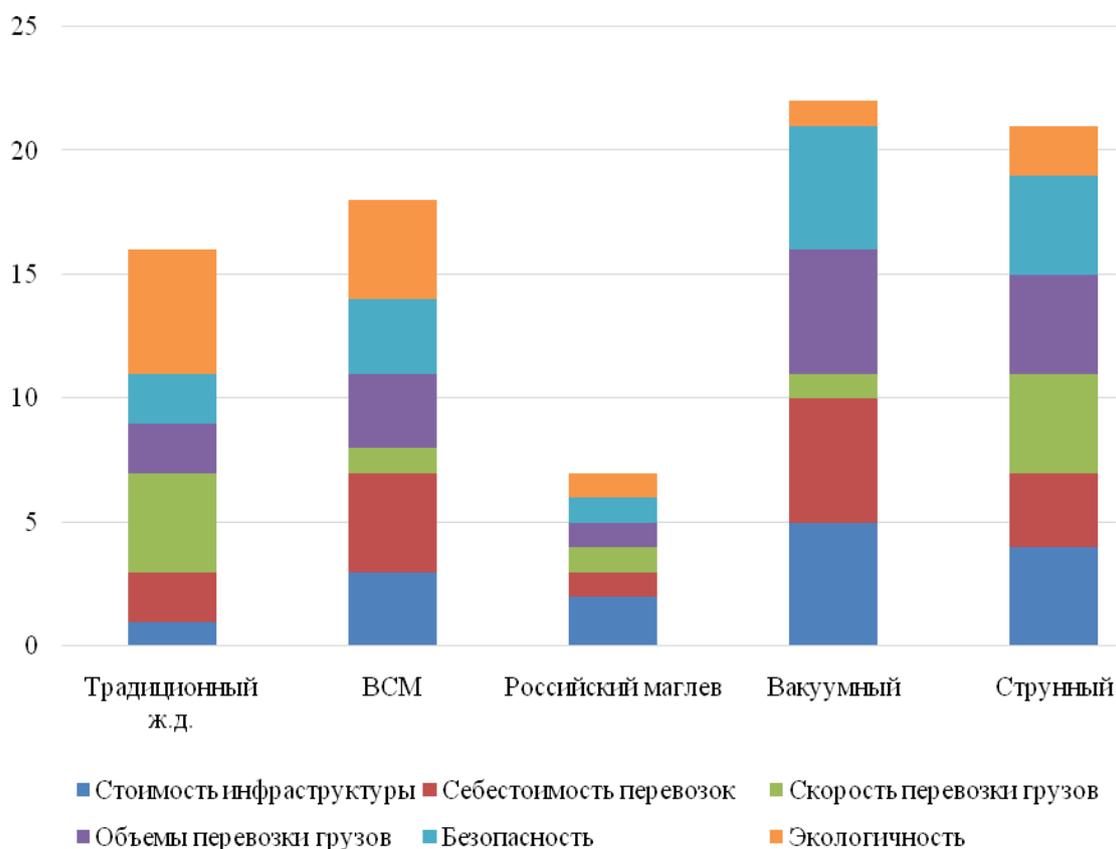


Рис. 3. Итоговая таблица эффективности видов наземного транспорта для массовых грузовых перевозок

Для массовых грузовых перевозок транспортом будущего, по мнению авторов, является магнитолевитационный на постоянных магнитах по российской технологии «РосМаглев», позволяющей существенно оптимизировать затраты на строительство инфраструктуры.

Второе место можно отдать традиционному железнодорожному транспорту. Однако при невысоком объеме спроса на перевозки и при внедрении энергоэффективного тягового подвижного состава высокоско-

ростной грузовой железнодорожный транспорт может составить конкуренцию, особенно в странах с развитой сетью ВСМ.

Последнее место уверенно занимает вакуумный транспорт. На сегодня технологии вакуумного транспорта еще сырые, и трудно спрогнозировать, осуществим ли проект, подобный Hyperloop. По оценкам специалистов, с учетом нынешнего уровня научно-технического прогресса и динамики его изменения для доведения транспортной технологии до стадии внедрения требуется от 30 до 50 лет. Поэтому можно говорить о том, что время магнитолевитационного транспорта как следующей ступени развития железнодорожного транспорта уже пришло. Это уже доказано как технологически, так и экономически. Придет ли время вакуумных технологий как следующей ступени развития магнитолевитационного транспорта – станет ясно через 20–25 лет.

Выводы

Целесообразность внедрения магнитолевитационного транспорта для массовых грузовых перевозок очевидна. Используемые в настоящее время в разных странах технологии для перемещения пассажиров, базирующиеся на магнитной левитации, уже зарекомендовали себя как выгодные, безопасные и удобные. Техническая зрелость таких технологий позволяет учесть все достижения при возведении магнитолевитационных линий для грузового движения, что весьма перспективно в свете острой необходимости поиска альтернативных морским способом перевозок.

Несмотря на текущий уровень разработок по проектам, связанным с вакуумным и струнным транспортом, их практическая реализация – задача отдаленного будущего, требующая значительных вложений на этапах тестирования и временных затрат, а также глубокой оценки безопасности.

Библиографический список

1. Следующий мировой нефтетранспортный коридор пройдет через Северный Ледовитый океан. – URL: <http://politikus.ru/articles/24148-sleduyuschiy-mirovoy-neftettransportnyy-koridor-proydet-cherez-severnuyu-ledovityy-ocean.html> (дата обращения 27.11.2017).
2. Официальный сайт ОАО «РЖД». – URL: <http://www.rzd.ru> (дата обращения 27.11.2017).
3. Панченко А. Скоростные магистрали тянут из бюджета. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/1887630> (дата обращения 27.11.2017).
4. РЖД завершили проектирование высокоскоростной магистрали Москва – Казань. – URL: https://lenta.ru/news/2017/09/07/misharin_vsm/ (дата обращения 27.11.2017).

5. Официальный сайт EXPO Ferroviaria. – URL: <http://www.expoferroviaria.com/eng/welcome> (дата обращения 27.11.2017).

6. Распоряжение правительства Российской Федерации № 1734-р от 22.11.2008 г. «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года».

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

8. Зайцев А. А. Грузовая транспортная платформа на магнитолевитационной основе: опыт создания / А. А. Зайцев // Транспортные системы и технологии. – 2015. – Вып. 2 (2). – С. 5–15. – URL: <http://www.transstyst.ru/2razdel-1-1-zaitsev.html.html>.

9. «Белкомур» перенесли на следующее. – URL: <http://komionline.ru/node/77454> (дата обращения 27.11.2017).

10. Официальный сайт «Проект Белкомур». – URL: <http://belkomur.com> (дата обращения 27.11.2017).

11. Официальный сайт Научно-образовательного инженерного кластера «Российский Маглев». – URL: <http://rusmaglev.com> (дата обращения 27.11.2017).

12. Зайцев А.А. О современной стадии развития магнитолевитационного транспорта / А.А. Зайцев // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 12. – С. 52–55.

13. Зайцев А.А. О современной стадии развития магнитолевитационного транспорта и подходах к выбору специализации и физической основы высокоскоростного движения на направлении Москва – Санкт-Петербург / А.А. Зайцев // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». – 2016. – № 4. – С. 26–33.

14. Официальный сайт Группы компаний SkyWay. – URL: <http://skyway.org> (дата обращения 27.11.2017).

15. Восточный полигон – Транссиб и БАМ. Проект «Транссиб за семь суток». – URL: http://cargo.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=5128&layer_id=3290&id=2084 (дата обращения 27.11.2017).

16. Официальный сайт Hyperloop One. – URL: <https://hyperlooptech.com> (дата обращения 27.11.2017).

Сведения об авторах:

СМИРНОВ Сергей Александрович, старший научный сотрудник.

E-mail: pos-pgups@yandex.ru

СМИРНОВА Ольга Юрьевна, научный сотрудник.

E-mail: pos-pgups@yandex.ru

Научно-образовательный центр инновационного развития пассажирских железнодорожных перевозок ФГБОУ ВО ПГУПС.

© Смирнов С. А., Смирнова О. Ю., 2017

UDK 625.02

S. A. Smirnov, O. Yu. Smirnova**EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF DIFFERENT TRANSPORT MODES FOR REGULAR MASS FREIGHT TRANSPORTATION**

Date of receipt: 07.09. 2016

Decision of publication: 30.11. 2016

The article deals with different transport modes for regular mass freight transportation, their efficiency evaluation is conducted on the bases of cost, operational and environmental properties.

Introduction. Due to demand in ensuring mass transportations between Southeastern Asia and Europe, there is a topical issue of efficient application of different types of ground transport. There is a request rising, to use cutting edge achievements in technology, to increase speeds of freight transportation for long distance and their safety and environmental friendliness enhancement.

Analysis. Consideration of cost properties of application of different transport modes for mass freight transportation allows revealing that the lowest infrastructure cost is typical for conventional railway transport; the lowest prime cost of transportation is ensured by maglev transport with permanent magnets of the “RosMaglev” technology; the lowest commercially profitable mode of transport for today’s level of science and technology is vacuum transport.

Operationally, the leading project is “RosMaglev”, with the vacuum transport having the lowest operational efficiency.

From environmental and carrying safety points of view, railway transport has gone pretty far in the recent two decades. However, a more sustainable and safe one is the maglev and vacuum modes of transport, which is explained by lack of emissions and other types of pollution, including noise pollution.

In terms of safety, maglev transport is the most competitive mode of transport. Whereas, vacuum transport is the most dangerous one.

Results. For mass freight transportation, the most promising mode of transport is the “RosMaglev” permanent magnets maglev transport, according to the authors. The technology allows significant increase of infrastructure construction costs. The second most promising mode is conventional railway transport. However, if the demand in transportation is low and the energy efficient traction rolling stock is implemented, the high-speed freight railway transport may be highly competitive, especially in countries with developed high-speed railway network. The vacuum transport holds firmly the third place.

Conclusion. The relevance of maglev transport implementation for mass freight transportations is obvious. The maglev technologies now in use in many countries for carrying passengers have proved profitable, safe and convenient. Technical “maturity” of these technologies allows considering all points and factors when constructing maglev freight lines which is very topical due to increasing need in searching transport routes alternative to sea routes.

Railway transport, high-speed mainlines, maglev transport, vacuum transport, string transport, regular freight transportation, cost, operational properties, sustainability (environmental friendliness), safety, prospect of implementation, technology “RosMaglev”.

Introduction

In the today’s world, there are firmly established geographical centres of production and consumption, with the first one located in Southeast Asia including, but not limited by China, and the second one – in Europe, predominantly its western part. There is a steady goods turnover between these two centres, showing dynamical growth in recent years. Due to demand in ensuring regular mass freight transportations between these centres, there arises a topical issue of consideration of application efficiency of various ground transport modes.

Despite a more dense goods flow from Southeast Asian countries to European ones, their reverse transportation also takes place (fig. 1). Decrease in amount of turnover caused by global economic down turn lasting from 2008, could not break the common tendency, which is indirectly confirmed by active elaboration of projects of the New Silk Road, the Silk Wind and other projects by China.

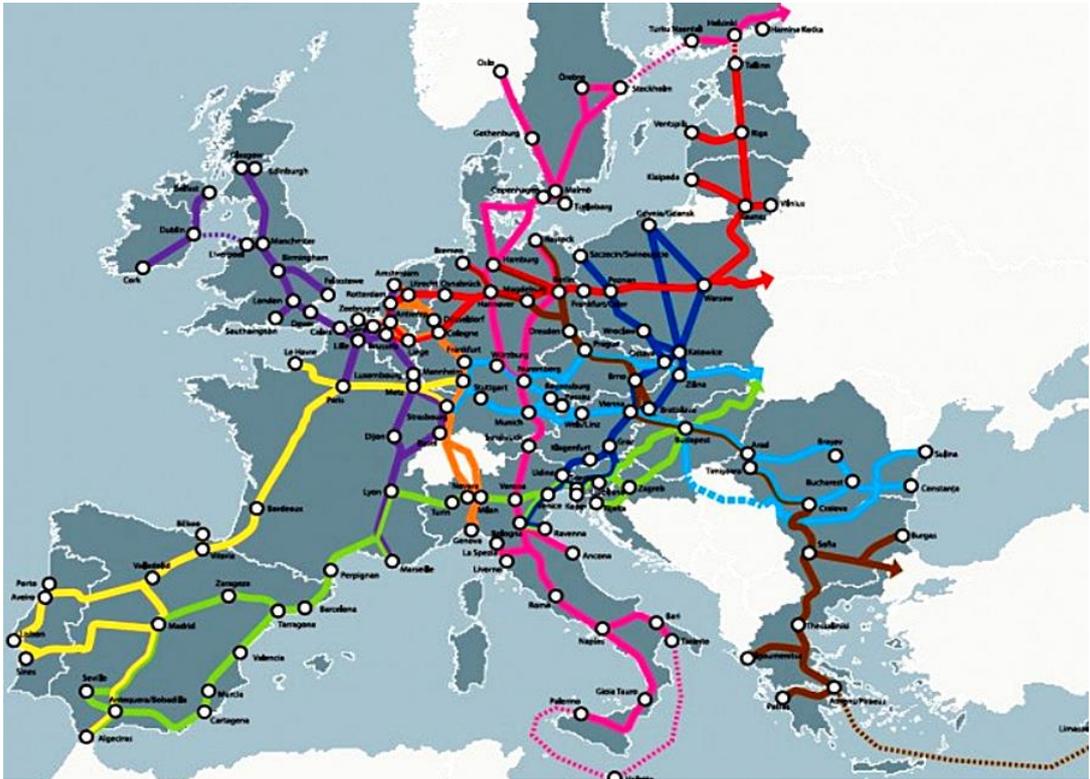


Fig. 1. World transport flows

The most capacious cargo route, the Deep Sea route, also known as the South Sea Route which passes through the Suez Canal, does not meet the conditions for acceleration of the movement of the commodity and money supply (fig. 2). This provides opportunities for the development of new modes of transport and new modes of transportation [1].



Fig. 2. The Northern Sea and the Suez Canal Routes

In European countries, despite a relatively low length of freight transportation routes, there also arose a demand in breakthrough technologies of freight transportation. This demand, on the one hand, is driven by environment protection ideas and policies. From the other hand, a number of states, including Switzerland, are in need of transit efficiency enhancement. On the part of Southern Europe states, in their turn, there is a demand to increase the speed of freight transportation over long distances - to the countries of Northern and Eastern Europe, and to Russia.

Analysis

Based on the existing level of technologies and prospects of their further development for comparison of their application efficiency for mass freight transportation, the following types of transport are determined:

- conventional railway transport;
- HSR, high-speed railway transport;
- maglev transport (EMS, EDS, permanent magnet suspension);
- vacuum transport;
- string transport.

Assessment of efficiency of transport modes has been carried out in accordance with the following parameters:

- cost parameters (more precisely, in cost of infrastructure construction, prime cost of transportation);

- operational properties;
- environmental properties and safety.

Railway infrastructure construction costs are highly dependent on construction and local conditions. Thus, in Russian conditions the cost of new non-electrified line starts from 500-600 million (approximately 8.5-10.3 million USD) rubles per one kilometre of track. The electrification of this line will increase the initial cost by more than 30 %.

Prime cost of freight transportation by conventional railway transport in Russia does not exceed 600 kopeck (approximately 0.11 USD) per 10 tonnes per kilometre [2].

Expenditures for construction of passenger HSR are much higher. Thus, the cost of construction of the HSR-1 between Moscow and Saint Petersburg at each of two options of financing makes more than 1 trillion (17.2 billion USD) rubles or 1.52 billion (17.2 million USD) rubles per one kilometre (as of 2012) [3], HSR Moscow – Kazan (HSR-2) – 1.26 trillion (21.6 billion USD) rubles or 1.64 billion rubles (28.1 million USD) per one kilometre (as of 2017) [4].

Cost of regular freight traffic designed HSR is higher than the cost above, but there is no precise data, since the real projects are being developed. JSC “RZD” (Russian Railways) and the Italian Railway Engineers Association express their utmost interest in this type of transportation [2, 5]. Drawing parallels with passenger transportation, we are sure that freight HSR will demand higher costs compared to conventional railways’ ones [6].

The cost of construction of maglev mainline for different projects varies from 500 million rubles (8.6 million USD) to 1.4 billion rubles (24 million USD) for one kilometre of track. Infrastructure deploying permanent magnetics has a higher cost. The cheapest mode in this case is light-rail metro on electro-magnetic or electrodynamic suspensions.

The peculiar feature of maglev lines is that they can be installed in the form of flyovers, giving the possibility to divide the infrastructure into active and passive. The passive part is similar to non-electrified railway line [7, 8]. Thus, the Scientific and Engineering Cluster “Russian Maglev” (“RosMaglev”) estimates one kilometre of passive infrastructure for maglev lines less than 450 million rubles (7.4 million USD) which is comparable to the cost of one kilometre of the Project “Belkomur” [9, 10]. The overall cost of one kilometre of “RosMaglev” is estimated 1 billion rubles (17.1 million USD) which became possible with the help of cutting edge solutions in permanent magnets technologies [11].

In terms of maglev projects, it is advisable to separately consider permanent magnets technology and other technologies.

Electrodynamic (Maglev technology, Japan) and electromagnetic (Transrapid technology, China) suspensions have no application in freight transportation. Moreover, serious developments in this area have not been carried out, as enlarged calculations have shown that the energy costs for creation and

maintenance of levitation will be unreasonably high. In contrast to these technologies, permanent magnets provide permanent levitation, which is compensated by the excessively high cost of infrastructure. Solution of this problem in Russian conditions allowed us to reach the estimated value of operating costs by 24 % lower than that of the conventional railway [11–13].

The cost of construction of vacuum mainline includes expenditures for maglev line construction and installation of equipment for preservation of vacuum. These are forevacuum pumps, getters or high-vacuum pumps. There is no economic assessment of creation and maintenance of vacuum. At the same time, according to experts, to lay a long tube with large diameter will be very costly.

Construction of 1 km of string transport route is estimated 800 million rubles (13.7 million USD) without considering the design work for one track in the conditions of an experimental test site. The prime cost of transportation by string transport is not defined. A reduction in operating costs by 2 times compared to traditional rail transport has been declared, but there is no information about operating costs for the freight line. Taking into account the structural features of string transport, it is more possible to forecast high costs for inspection and maintenance of the line [14].

Summing up the cost properties of application of various modes of transport for mass freight transportation, we can make the following conclusions:

- the lowest price of infrastructure is the feature of conventional railway transport;
- the lowest prime cost of transportation is ensured by maglev transport with permanent magnets “RosMaglev”;
- the lowest commercial profit can be gained from the vacuum transport.

The operational properties of railway transport are a deeply studied issue. In the USA and Canada, trains run with over 100 wagons, each one carrying 2 containers. The infrastructure and the wagons themselves are designed for speeds of 140 km/h and over. However, the daily speed of delivery of goods is still low. For example, the project «Transsib for seven days» (Transsib za sem' sutok-in Russian) sets an ambitious goal, which consists in the passage of a distance of 1.400 km per day [15].

The Italian project of freight HSR suggests reaching a speed of 250 km/h. However, the length of the train does not exceed 16 wagons, each carrying 2 containers [5].

The operational properties of “RosMaglev” project include the length of the train with 71 wagons, which corresponds to the maximum length of the train on Russian railways. Each transport unit is capable of carrying a sea container. In this case, the rational length of the train depends on the stopping distance of the train. With the speed of 250 km/h planned for the “RosMaglev” project, this value exceeds 3 km. Technologically, the speed can be increased to 500 km/h,

but the containers that exist today are not capable to withstand the impacts of the arising forces.

Vacuum transport projects, in particular Hyperloop, suggest the motion of single vehicles, which is a technologically inefficient solution. In addition, at the declared speeds (up to 1000 km/h), the above mentioned problem of container integrity arises. Operation at a speed of 250 km/h or lower does not require the creation of a vacuum space, which puts under question the feasibility of vacuum transport projects as a whole [16].

According to the operational properties, the “RosMaglev” project is at the leading position, the lowest efficiency is achieved with the use of vacuum transport.

From the environmental and safety points of view, railway transport has made significant progress in recent decades. However, the maglev and vacuum modes of transport are more environmentally friendly, which is due to the absence of emissions and other types of pollution, including noise.

In terms of safety, maglev transport is the most competitive, especially in comparison with vacuum transport. This is due to the fact that in an artificially created vacuum environment, there is an increased risk associated with a jump in the density of the medium. The slightest violation of the concentration of gas particles, a “wall” springs up before the vehicle, causing collision. With the current level of development of technology, vacuum transport becomes the most dangerous of all types of ground transport considered.

Results

Efficiency comparison of ground transport modes is given in the fig. 3.

As to the authors, for mass freight transportation by future transport the maglev transport with permanent magnets based on “RosMaglev” technologies is the future. It enables significant optimising infrastructure costs.

The second place would go to conventional railway transport. However, if the demand in transportation is low and the energy efficient traction rolling stock is implemented, the high-speed freight railway transport may be highly competitive, especially in countries with developed high-speed railway network. The vacuum transport holds firmly the third place.

As of today, vacuum transport technologies are still “raw” making it hard to forecast whether or not the Hyperloop, for example, will practically feasible. According to experts, taking into account the current level of scientific and technological progress and the dynamics of its change, to bring the transport technology to the stage of implementation requires from 30 to 50 years. Therefore, it can be said that the time for maglev transport, as the next stage in the development of railway transport, has already come. This has already been proved both technologically and economically. Whether the time for vacuum technolo-

gies will come, as the next stage in the development of maglev transport, will become clear in 20-25 years.

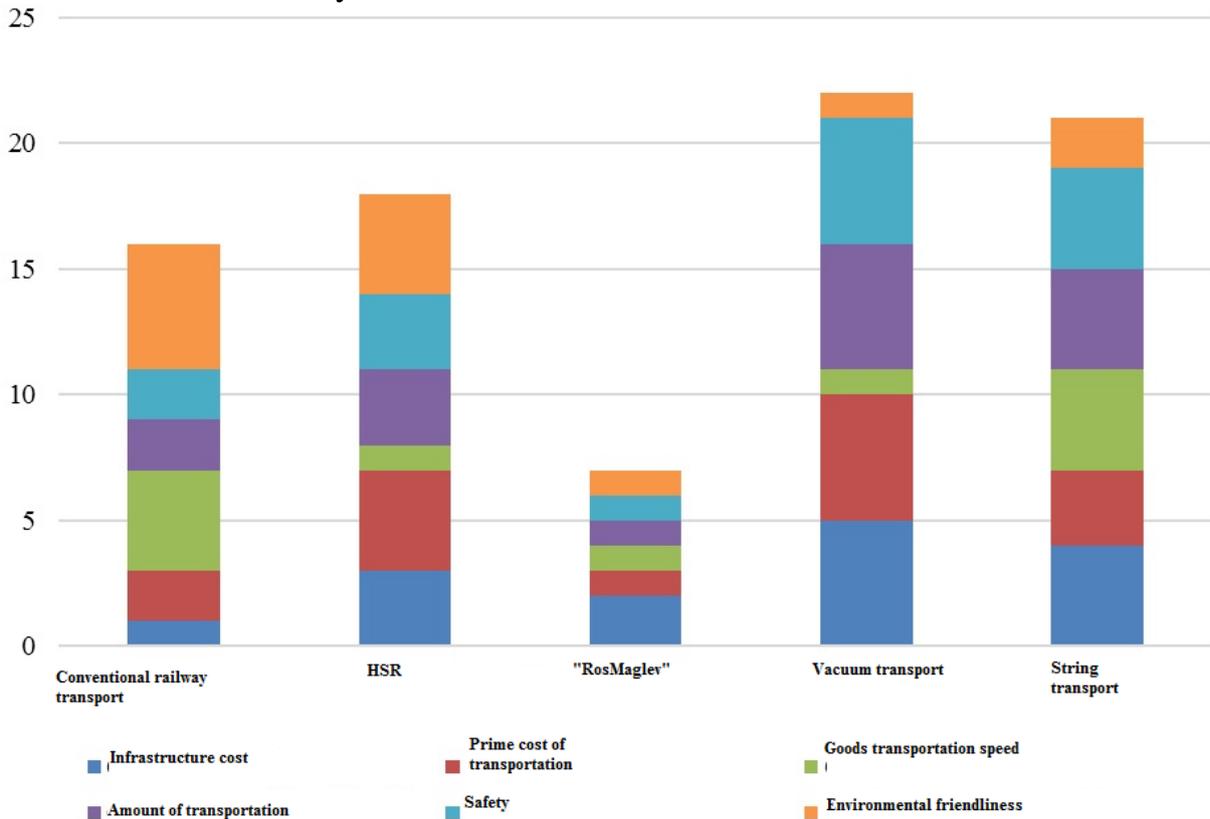


Fig. 3. Table showing efficiency of ground transport modes for mass freight transportation

Conclusion

The relevance of maglev transport implementation for mass freight transportations is obvious. The maglev technologies now in use in many countries for carrying passengers have proved profitable, safe and convenient. Technical “maturity” of these technologies allows considering all points and factors when constructing maglev freight lines which is very topical due to increasing need in searching transport routes alternative to sea routes.

Despite the today’s level of vacuum and string projects related technologies, their practical feasibility is a long-term perspective requiring large investments at testing stages and thorough safety analysis.

References

1. <http://politikus.ru/articles/24148-sleduyuschiy-mirovoy-neftetransportnyy-koridor-proydet-cherez-severnyy-ledovityy-ocean.html> (accessed 27.11.2017).

2. Official Website of JSC “RZD” [Ofitsyal’nyi sait OAO “RZD”]. Available at: <http://www.rzd.ru> (accessed 27.11.2017).
3. Panchenko A. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/1887630> (accessed 27.11.2017).
4. https://lenta.ru/news/2017/09/07/misharin_vsm (accessed 27.11.2017).
5. Official Website of EXPO Ferroviaria. – Available at: <http://www.expoferroviaria.com/eng/welcome> (accessed 27.11.2017).
6. The Russian Federation Government Statement of 22.11.2008 № 1734-p “The Russian Federation Transport Strategy up to 2030” [Rasporiazhenie Pravitel’sstva Rossiiskoi Federatsyi № 1734-p ot 22.11. 2008 “Transportnaia strategiiia Rossiiskoi Federatsyi do 2030 goda”].
7. Antonov Yu., Zaitsev A. Magnetic Levitation Transport Technology [Magnitolevitatsionnaya transportnaya techno-logiya]. Moscow, 2014. 476 p.
8. Zaitsev A. *Transp. Syst. Technol. [Transportnye sistemy i tekhnologii]*. 2015, no. 2 (2). pp. 5–15. Available at: <http://www.transstest.ru/2razdel-1-1-zaitsev.html.html>.
9. <http://komionline.ru/node/77454> (accessed 27.11.2017).
10. Official Website of the Project “Belkomur” [Ofitsyal’nyi sait proekta “Belkomur”]. Available at: <http://belkomur.com> (accessed 27.11.2017).
11. Official Website of The Scientific and Engineering Cluster “Russian Maglev” [Ofitsyal’nyi sait nauchno-inzhenernogo klastera “Rossiiskii Maglev”]. Available at: <http://rusmaglev.com> (accessed 27.11.2017).
12. Zaitsev A. *Railway Transp. [Zheleznodorozhnyi transport]*. 2016, vol. 12, pp. 52–55.
13. Zaitsev A. *JSC “RZhD” Bulletin [Biulleten’ OUS OAO “RZhD”]*. 2016, vol. 4, pp. 26–33.
14. Official Website of SkyWay Group of Companies. Available at: <http://sky-way.org> (accessed 27.11.2017).
15. Freight Transportation of JSC “RZhD” [Gruzovye perevozki RZhD]. Available at: http://cargo.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=5128&layer_id=3290&id=2084 (accessed 27.11.2017).
16. Official Website of Hyperloop One. Available at: <https://hyperlooptech.com> (accessed 27.11.2017).

Information about the authors:

Sergei A. SMIRNOV, Senior Researcher.

E-mail: noc-pgups@yandex.ru

Olga Yu. SMIRNOVA, Researcher.

E-mail: noc-pgups@yandex.ru

Scientific and Educational Centre for Innovative Development of Railway Passenger Transportation