

УДК [UDC] 629.439.016.56  
DOI 10.17816/transsyst20184326-35

© Б. М. ЛАПИДУС

Объединенный ученый совет ОАО «РЖД»,  
Международный Союз железных дорог  
(Москва, Россия)

## МАГНИТНАЯ ЛЕВИТАЦИЯ – ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА ДЛЯ СВЕРХСКОРОСТНЫХ ВАКУУМНО-ЛЕВИТАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Аннотация.** В статье проанализированы стратегические тренды развития транспорта, отвечающие современным требованиям экономики и общества. Выявлено, что ключевой тренд – повышение скорости движения. Для достижения прорывных результатов в этом направлении весьма перспективно применение магнитной левитации в сочетании с использованием вакуумной среды – создание вакуумно-левитационных транспортных систем. Отмечено, что Объединенным ученым советом ОАО «РЖД» сформированы требования к созданию таких систем, сфокусировано внимание на проблеме социально-экономической эффективности их создания. Сделано заключение, что железнодорожный транспорт в интересах своей стратегической конкурентоспособности должен быть инициатором и активным участником создания вакуумно-левитационных транспортных систем, что, в свою очередь, может стать важным стимулом для интеграции усилий мирового научного сообщества.

**Ключевые слова:** социально-экономические тенденции, стратегические тренды развития транспорта, конвергенция транспортных систем, магнитная левитация, вакуумно-левитационные транспортные системы, научные приоритеты повышения скорости движения, интермодальные перевозки, бизнес-кооперация транспортных систем.

© B. M. Lapidus

Joint Scientific Council of JSC Russian Railways,  
UIC (International Union of Railways)  
(Moscow, Russia)

## MAGNETIC LEVITATION AS THE FUNDAMENTAL BASIS FOR SUPERFAST VACUUM LEVITATION TRANSPORT TECHNOLOGIES

**Abstract.** The article reviews the strategic trends of transport development that meet the modern requirements of the economy and society. It was revealed that the key trend is to increase the speed of traffic. To achieve breakthrough results in this direction, it is proposed

to use magnetic levitation in combination with the use of a vacuum environment - the creation of vacuum-levitation transport systems. It is noted that the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways formed the requirements for the creation of such systems and focused attention on the problem of the socio-economic efficiency of its creation. It is concluded that rail transport, in the interests of its strategic competitiveness, should be the initiator and active participant in the creation of vacuum-levitation transport systems, which, in turn, can become an important incentive for integrating the efforts of the world scientific community.

**Keywords:** socio-economic trends, strategic trends in transport development, convergence of transport systems, magnetic levitation, vacuum-levitation transport systems, scientific priorities of speed increase, intermodal transports, business cooperation of transport systems.





















































































Глобальные социально-экономические тенденции, сформировавшиеся в конце XX – начале XXI века, требуют кардинального ускорения транспортных сообщений. Создание новых транспортных систем – актуальная задача, успешность решения которой во многом будет определять улучшение качества жизни и торгово-экономическую эффективность регионов, городов, государств. При выборе направлений исследований необходима оценка возникающих в связи с этим рисков и возможностей, а также выработка соответствующих действий научно-технического сообщества.

## СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА


Макро- и мегаэкономические требования к транспортной системе характеризуют факторы, оказывающие решающее влияние на эволюцию транспорта [1]. Выделяют пять таких факторов:


- повышение уровня жизни населения;
- повышение стоимости человеческого капитала;
- углубление межрегиональных демографических диспропорций;
- увеличение демографической и производственной нагрузки на природную среду;
- снижение ресурсоемкости экономики, совершенствование переработки сырья, рост доли готовой продукции в структуре перевозок.


С учетом указанных факторов глобальными требованиями к перспективным транспортным системам становятся повышение скорости, безопасность, в частности экологическая, энергоэффективность, способность к гибкому обслуживанию пользователей и интеграция в мультимодальные транспортные системы.


Тренды	Лидеры	Стремление к лидерству
Ускорение перевозок	    	      
Удешевление	    	      
Безопасность	    	      
Экологичность и энергоэффективность	    	      
Гибкость обслуживания	    	      
Малообслуживаемые и безлюдные технологии	    	      
Мультимодальность	    	      


**Обозначение видов транспорта**


 - железнодорожный

 - воздушный

 - водный

 - магнито-  
левитационный

 - автомобильный

 - трубопроводный


 - вакуумно-  
левитационный

Рис. 1. Стратегические тренды развития транспортной системы

На Рис. 1 показаны современные виды транспорта, которые сегодня лидируют или стремятся к лидерству на транспортном рынке. В плане безопасности, в частности экологической, и энергоэффективности первым выступает железнодорожный транспорт, по другим позициям лидируют автомобильный, трубопроводный, авиационный, морской транспорт. Стратегическим «ориентиром» железных дорог служат увеличение гибкости обслуживания, обеспечение мультимодальности и ускорение перевозок. Вместе с тем эти стратегические тренды самым активным образом развиваются на автомобильном транспорте, который стремится к лидерству в растущем сегменте требований общества к транспортным услугам.

Вследствие роста численности населения, повышения стоимости человеческого капитала [2] и ценности времени увеличиваются спрос и требования к развитию высокоскоростных пассажирских перевозок. Эти тенденции подтверждает взрывной рост строительства высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) в последнее десятилетие [3]. Только в Китае построено более 22 тыс. км ВСМ – больше, чем их эксплуатируется в других странах. По прогнозам Международного союза

железных дорог бурное развитие мировой сети ВСМ сохранится в будущем.

Как современный тренд рассматривается «заимствование» преимуществ одного вида транспорта в развитии технологий и технических решений на других. К примеру, скорость поездов стремится к скорости авиатранспорта, а грузо- и пассажировместимость последнего стремится к железнодорожным аналогам. Не случайно введен термин «конвергенция транспортных систем» [4]. При этом технологическое заимствование элементов транспортных систем названо «естественной синергетической эволюцией транспортных систем» [5]. Разработаны и имеют некоторый опыт внедрения в мировую практику проекты, где технологические решения поезда, автомобильного транспорта и даже самолета объединяются. Весьма перспективным представляется железнодорожный канал, где объединены морской и железнодорожный транспорт (железнодорожный способ перемещения судна), что позволяет преодолевать сотни километров, не сооружая морские каналы. Интересны аэрожелезнодорожные проекты, впервые предложенные томским ученым-инженером Борисом Вейнбергом [6]. Сегодня идеи «парящих поездов» воплощаются в таких проектах, как магнитолевитационные и вакуумные поезда. В этом плане надо выделить работу над проектами ET3 [7] и активно реализуемый проект Hyperloop, а также концептуальную идею создания «поезда-самолета» [4].

При этом тренд XXI века – достижение высокой скорости в сочетании с использованием в транспортных системах нетрадиционных источников энергии, видов передачи тяги и искусственной среды движения транспортных средств.

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ В СОЧЕТАНИИ С ВАКУУМНОЙ СРЕДОЙ

Применение магнитной левитации в сочетании с вакуумной средой представляется перспективным для транспортных систем [8, 9]. Эти решения способствуют преодолению самых энергоемких ограничений движения транспортных средств: контакта колесо – рельс [10, 11] и сопротивления воздушной среды [12, 13]. Применение в транспортной системе искусственно созданной воздушной среды с пониженным в 100 и более раз давлением дает возможность удвоить скоростные возможности магнитолевитационной системы «поезд – инфраструктура». При этом использование более глубокой форвакуумной среды позволит достичь подвижному составу скорости, в пять-шесть раз превышающей максимальную [14].

Научная база для решения технико-технологических и экономических вопросов создания таких систем в нашей стране сейчас активно прорабатывается. На основании результатов проведенных Объединенным ученым советом ОАО «РЖД» исследований подготовлены технические требования к разработке проекта вакуумно-левитационной транспортной системы (ВЛТС), обобщенные в монографии [5]. Доказаны перспективность ВЛТС, в частности в российских условиях, и ее потенциальная конкурентоспособность при перевозках на средние (500–1000 км) и дальние (более 1000 км) расстояния при условии логистической и цифровой кооперации новой транспортной системы с сетью классических железных дорог.

В рамках деятельности Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» [15–17] удалось выйти на содержание будущих технических требований к созданию вакуумно-левитационного транспорта. Они должны касаться определения основных параметров инфраструктуры ВЛТС и подвижного состава, методов снижения сопротивления движению в вакуумной среде, обеспечения движения на принципах магнитной левитации и создания систем безопасности и оценок риска.

## **НАУЧНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВАКУУМНО-ЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА**

В процессе работы над концепцией определены следующие научные приоритеты для достижения скорости движения 1000–1200 км/ч при 100-кратном снижении сопротивления движению.

1. Определение основных параметров инфраструктуры:
  - соотношение габаритов,
  - терраэффективность,
  - станции и разъезды,
  - минимальный радиус кривых;
2. Обеспечение движения на основе магнитной левитации: конструктивные решения для движения, разгона и торможения;
3. Создание систем безопасности:
  - физиологические ограничения,
  - нештатные ситуации,
  - технологические и техногенные риски;
4. Определение основных параметров подвижного состава:
  - геометрические параметры,
  - аэродинамическая форма,
  - компоновка,
  - материалы;
5. Обеспечение снижения сопротивления движению:



- форвакуум,
  - разреженная среда,
  - альтернативные физические принципы движения;
6. Создание систем жизнеобеспечения:
    - жизнеобеспечение пассажиров,
    - тепловой профиль,
    - источники и накопители энергии;
  7. Выбор принципов, методов и оборудования для создания форвакуумной инфраструктуры или снижения сопротивления движению;
  8. Оценка возможности и целесообразности замены форвакуумной среды в инфраструктуре транспортной системы на среду легких газов со свойствами, соответствующими целям снижения сопротивления;
  9. Оценка возможности применения альтернативных физических принципов и конструкционных решений для дополнительного снижения сопротивления движению капсулы магнитно-левитационной транспортной системы;
  10. Оценка энергооптимальности систем энергоснабжения на основе существующих источников энергии и возможности накопления тепловой и кинетической энергии при движении подвижного состава;
  11. Прогнозирование на основе оценочных расчетов теплового профиля поверхностей подвижного состава и инфраструктуры для различных режимов движения в диапазоне значений скорости 0–1200 км/ч;
  12. Конструкционные решения систем жизнеобеспечения пассажиров на борту транспортного средства.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЫНОЧНОЙ НИШИ ДЛЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Один из главных экономических вопросов – определение коммерческой ниши на рынке транспортных услуг, чтобы сделать проекты рентабельными и перспективными. Главное технологическое условие массового использования ВЛТС состоит в скорейшем решении фундаментальной задачи достижения сверхпроводимости.

Однако в наше время эффективность любых транспортных систем, например ВСМ [18], обеспечивается не только их коммерческой эксплуатацией. Более весомый вклад вносит создание социально-экономических эффектов и сопутствующих видов бизнеса для инвесторов [19].

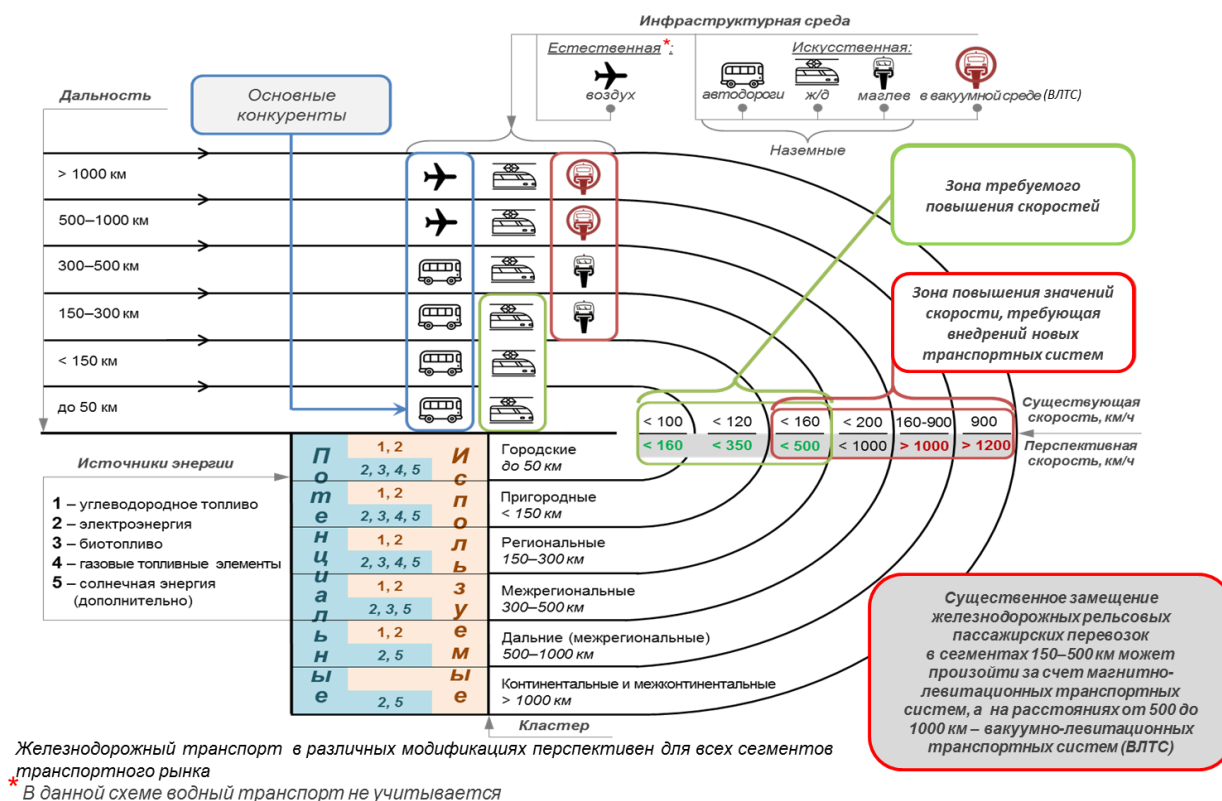


Рис. 2. Схема перспективного развития пассажирских перевозок

Рассмотрим систематизированные требования для развития источников энергии, маршрутов, увеличения дальности перевозок, скорости в каждом из рыночных сегментах (Рис. 2). В сегментах от 150 до 500 км перспективно развитие конкуренции перевозок по железным дорогам и с помощью магнито-левитационных транспортных систем, а в сегментах более 500 км – с использованием ВЛТС. После доработки физических принципов создания эффекта левитации и снижения стоимости элементов магнито-левитационной транспортной системы масштабы конкурентоспособности последних будут расширяться. Эти риски существенны для масштабов бизнеса железнодорожных компаний, поэтому железнодорожная наука и железнодорожный менеджмент должны быть заинтересованы во внедрении магнито-левитационных систем и ВЛТС. Становление указанных систем должно восприниматься как очередной этап развития железнодорожного транспорта, иные варианты приведут к кардинальному перераспределению бизнеса не в пользу последнего.

Таким образом, ключевой тренд развития транспорта, отвечающий на социально-экономические вызовы современности, – повышение скорости перевозок. Прорывное ускорение перевозок может быть достигнуто на основе применения магнитной левитации в сочетании с использованием вакуумной среды, т. е. создания ВЛТС. Принципиальные

требования к их созданию определены Объединенным ученым советом ОАО «РЖД».

Необходимо обеспечить конвергенцию ВЛТС с традиционными железными дорогами, что сделает внедрение магнитной левитации эффективным и послужит развитию железнодорожного бизнеса. Во-первых, сооружение линий ВЛТС возможно над существующими железнодорожными путями, т. е. возможна инфраструктурная кооперация. Во-вторых, реализация интермодальных перевозок с использованием линий ВЛТС и железных дорог может обеспечить широкую логистическую сеть обслуживания и огромный ареал транспортного сервиса. В-третьих, бизнес-кооперация, создание ВЛТС может быть хорошим видом бизнеса и стратегических вложений в развитие транспортной системы.

Работа над перспективным проектом развития магнито-левитационного транспортных систем должна стать стимулом для интеграции мирового научного сообщества с целью ускорения выбора лучших конструкционных и технологических решений для транспорта XXI века.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Лapidус Б.М., Мачерет Д.А. Методология оценки и обеспечения эффективности инновационных транспортных систем // Экономика железных дорог. – 2016. – № 7. – С. 16–25. [Lapidus BM, Macheret DA. Metodologiya ocenki i obespecheniya ehffektivnosti innovacionnyh transportnyh system. *Ehkonomika zheleznih dorog*. 2016;7:16-25. (In Russ.)].
2. Капелюшников Р.И. Сколько стоит человеческий капитал России? Часть I // Вопросы экономики. – 2013. – №1. – С. 27–47. [Kapelyushnikov RI. Russia's Human Capital: What Is It Worth? Part I. *Voprosy Ekonomiki*. 2013;1:27-47. (In Russ.)].
3. High Speed Rail: Fast Track to Sustainable Mobility. UIC Brochure, June 2015.
4. Лapidус Б.М., Лapidус Л.В. Железнодорожный транспорт: философия будущего. – М.: Прометей, 2015. – 232 с. [Lapidus BM, Lapisus LV. *Zheleznodorozhnyi transport: filosofiya budushchego*. Moscow: Prometey; 2015. 232 p. (In Russ.)].
5. Galen J. Suppes, A Perspective on Maglev Transit and Introduction of the PRT Maglev. *Transportation Research Record*. 1995;1496:103-111.
6. Вейнберг Б.П. Движение без трения. Доступно по: [http://veinberg.o7.ru/pdf/no\\_friction\\_motion.pdf/](http://veinberg.o7.ru/pdf/no_friction_motion.pdf/). Ссылка активна на 09.08.2018. [Veinberg BP. *Dvizhenie bez treniya*. Available from: [http://veinberg.o7.ru/pdf/no\\_friction\\_motion.pdf/](http://veinberg.o7.ru/pdf/no_friction_motion.pdf/). Accessed August 09, 2018. (In Russ.)].
7. Patent №USOO5950543A/ 14.09.1999. Daryl Oster. Available from: <https://patents.google.com/patent/US5950543A/en>.
8. Зайцев А.А., Юдкин В.Ф. Транспортная система для межстрановых и межконтинентальных перевозок на основе магнитной левитации // Русский



- инженер. – 2016. – № 4 (51). – С. 36–40. [Zaitsev AA, Yudkin VF. Transportnaya sistema dlya mezhstranovykh i mezhkontinental'nykh perevozok na osnove magnitnoi levitatsii. *Russkii inzhener*. 2016;4:36-40. (In Russ.)].
9. Зайцев А.А., Антонов Ю.Ф. Магнитолевитационная транспортная технология. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 476 с. [Zaitsev AA, Antonov YuF. Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya. Moscow: FIZMATLIT; 2014. 476 p. (In Russ.)].
  10. Камчатный В.Г. Особенности динамики взаимодействия высокоскоростных объектов с рельсовой направляющей. // Испытания материалов и конструкций. – Нижний Новгород: Интелсервис. – 200 с. [Kamchatny VG. Osobennosti dinamiki vzaimodeistviya vysokoskorostnykh ob"ektov s rel'sovoi napravlyayushchei. *Ispytaniya materialov i konstruksii*. Nizhny Novgorod: Intelservis. 200 p. (In Russ.)].
  11. Камчатный В.Г., Бутова С.В. Опыт реализации в РФЯЦ-ВНИИЭФ высокоскоростного движения объектов по рельсовым направляющим. Научно-технические проблемы // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2013. №2. С. 38–44. [Kamchatny VG, Butova SV. Experience of realization of high-speed objects transportation on guide rails in RFNC – VNIIEF. Scientific-technical issues. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. 2013;2:38-44. (In Russ.)].
  12. Кирякин В.Ю., Лежава В.Ш., Новгородцева А.В., и др. Об оценке оптимальной скорости вакуумных поездов и выборе глубины вакуума // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2016. №5. С. 26–38. [Kiryakin VYu, Lezhava VSh, Novgorodtseva AV, et all. An estimate of the vacuum trains optimum speed and the choice of vacuum level. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. 2016;5:26-38. (In Russ.)].
  13. Воробьев И.А., Кондратенко Р.О., Нестеров С.Б., Белоконов А.Н. Оценка характеристик вакуумной среды и энергетических параметров инфраструктуры для вакуумно-левитационного транспорта // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2016. – № 4. – С. 18–25. [Vorob'ev IA, Kondratenko RO, Nesterov SB, Belokonev AN. Evaluation of the vacuum environment characteristics and energy infrastructure parameters for vacuum levitation transport. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. 2016;4:18-25. (In Russ.)].
  14. Вакуумно-левитационные транспортные системы: научная основа, технологии и перспективы для железнодорожного транспорта: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» / Под ред. Лapidуса Б.М., Нестерова С.Б. – М.: ООО «РАС», 2017. – 192 с. [Lapidus BM, Nesterov SB, editors. Vakuumno-levitatsionnye transportnye sistemy: nauchnaya osnova, tekhnologii i perspektivy dlya zheleznodorozhnogo transporta: kollektivnaya monografiya chlenov i nauchnykh partnerov Ob"edinennogo uchenogo sojeta ОАО “RZhD”. Moscow: ООО RAS; 2017. (In Russ.)].
  15. Кирякин В.Ю., Лежава В.Ш., Новгородцева А.В. Применение вакуумной среды для создания скоростных транспортных систем. Математическое моделирование обтекания объектов (метод дискретных вихрей) // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2015. – № 6. – С. 28–36. [Kiryakin VYu, Lezhava VSh, Novgorodtseva AV. The use of a vacuum environment for creating highspeed transport systems. Mathematical modelling of flow around objects (the method of discrete vortices). *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. 2015;6:28-36. (In Russ.)].
  16. Зайцев А.А. Отечественная транспортная система на основе магнитной

- левитации // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2015. – № 6. – С. 22–27. [Zaitsev AA. The domestic transport system based on magnetic levitation. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. 2015;6:22-27. (In Russ.)].
17. Воробьев И.А. и др. О возможностях, специфике, научных задачах по созданию вакуумной среды для транспортных систем // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2016. – № 1–2. – С. 28–38. [Vorob'ev IA et al. The possibilities, specifics and scientific tasks of creating a vacuum environment for transport systems. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. 2016;1-2:28-38. (In Russ.)].
18. Лapidус Л.В. Социально-экономические эффекты высокоскоростного железнодорожного сообщения // Экономика железных дорог. – 2013. – № 12. – С. 58–63. [Lapidus LV. Sotsial'no-ekonomicheskie efekty vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo soobshcheniya. *Ekonomika zheleznikh dorog*. 2013;12:58-63. (In Russ.)].
19. Мишарин А.С. ВСМ – новый импульс развития экономики // Пульс управления. – 2015. – № 4. – С. 6–9. [Misharin AS. VSM – novyi impul's razvitiya ekonomiki. *Pul't upravleniya*. 2015;4:6-9. (In Russ.)].

**Сведения об авторе:**

**Лapidус Борис Моисеевич**, д.э.н., профессор; адрес: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10;

eLibrary SPIN: 6429-2736; ORCID: 0000-0002-4887-4255;

E-mail: lapidusbm@mail.ru

**Information about the author:**

**Boris M. Lapidus**, Doctor of Economics, professor; address: 129626, Moscow, 3-ya Mytishchinskaya st., 1 bldg. 1;

eLibrary SPIN: 6429-2736; ORCID: 0000-0002-4887-4255;

E-mail: lapidusbm@mail.ru

**Цитировать:**

Лapidус Б.М. Магнитная левитация – фундаментальная основа для сверхскоростных вакуумно-левитационных транспортных технологий // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 3. – С. 26-35. doi: 10.17816/ transsyst20184326-35

**To cite this article:**

Lapidus BM. Magnetic Levitation as the Fundamental Basis for Superfast Vacuum Levitation Transport Technologies. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3):26-35. doi: 10.17816/ transsyst20184326-35