
СЕКЦИЯ 5 ВАКУУМНО-ЛЕВИТАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Определение сферы применения вакуумно- левитационной транспортной системы на рынке транспортных услуг

*Б.М. Лapidус, *Р.О. Кондратенко
Москва, ОАО «РЖД»*

**Москва, ОАО «НИИВТ им. С. А. Векшинского», E-mail: rim19@mail.ru*

В статье рассмотрены основные особенности новой транспортной системы с целью определения сферы применения вакуумно-левитационной транспортной системы (ВЛТС) на рынке транспортных услуг.

Application sphere of vacuum-levitation transportation system in the transportation service market. B.M.Lapidus, R.O.Kondratenko. The main features of the new transportation system are viewed here in order to determine an application sphere of the vacuum levitation transportation system (VLTS) in the transportation service market.

1.1. Социально-экономические предпосылки к появлению на рынке новой транспортной системы.

По оценкам ООН, число жителей планеты к 2050 году достигнет 9,2 млрд. В 2009 году этот показатель был равен 6,8 млрд., в 1950-м — 2,5 млрд. При этом 70% всех жителей будут проживать в городах.

По оценкам транснациональной корпорации Exxon Mobil к 2040 году спрос на транспортные услуги увеличится более чем на 40%, в основном за счет деловых путешественников. Одним из критериев удовлетворенности качеством перевозок является скорость, и ее значимость в транспортной системе будущего будет возрастать.

Масштаб территории России и ближайших стран, протяжённость их потенциальных транспортных маршрутов требуют поиска решений для кардинального роста скоростных характеристик транспорта [1,2,3]. Так, например, протяжённость трассы Москва-Пекин составляет 7769 км (и поездка при проектируемых скоростях высокоскоростной железнодорожной магистрали (ВСМ) займёт не менее 32,8 часа), что потребует увеличения скорости транспорта.

Существуют предпосылки роста скорости и на относительно малых расстояниях. На сегодняшний день в Москве и Московской области на рынке труда сохраняется существенное неравенство между центром мегаполиса и его периферией. Опыт европейских стран показывает высокий уровень корреляции между уровнем заработной платы и уровнем транспортной доступности между центрально-промышленными и «спальными» районами мегаполисов.

Комфортным временем следования «из центра в центр» можно считать 45 мин для ареала деловых поездок, 3–4 часа для отдыха в других регионах.

Сравнительные графики рассчитанной зависимости доход-расстояние до центра для Подмосквья и Европы представлены на рис. 1.

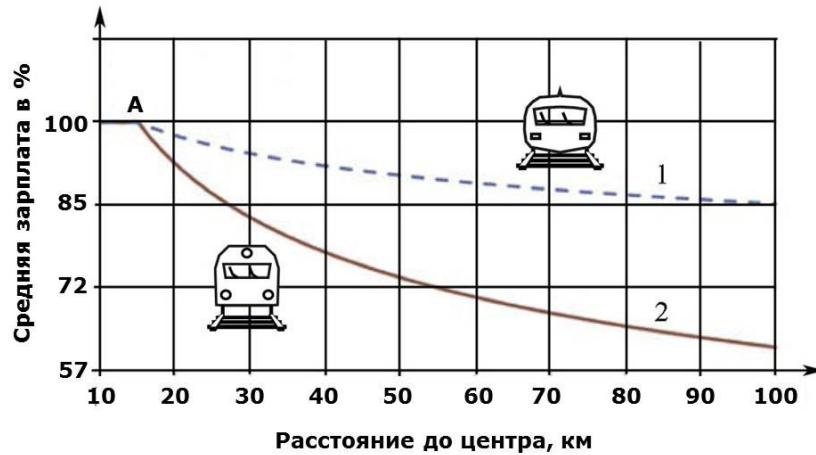


Рис. 1. Оцененная зависимость зарплаты (доход) – расстояние.

1 – Европа (Германия, Швеция, Нидерланды); 2 – Московская область.

Источник данных – Росстат [1]. Точка А – максимальный уровень средней заработной платы в крупных городах.

С повышением эффективности (в данном случае скорости) общественного транспорта следует ожидать интеграции рынков труда и сглаживания кривой «доход-расстояние». В идеале, когда транспортная система по развитию догонит европейский уровень, произойдет перераспределение людей в пространстве — московская агломерация с интенсивными производственными, транспортными и культурными связями расширится, плотность населения в среднем и дальнем Подмоскowie вырастет, а в центре агломерации снизится.

Можно ожидать, что развитие транспортной сети до европейского уровня увеличит зарплаты в среднем Подмоскowie в 1,5 раза. Аналогичные тенденции будут проявляться во всех крупных городах.

Необходимость и выгодность создания транспортной системы со скоростями, кратными 1000 км/час (до 6000 км/час) все чаще обсуждается и мировым научным сообществом. Одной из рассматриваемых систем для железнодорожных перевозок является вакуумно-левитационная транспортная система или «вакуумный поезд».

В настоящее время помимо разработки концепции российской вакуумно-левитационной транспортной системы ведутся разработки системы HYPERLOOP (скорость до 1 220 км/ч) и системы ET3 (скорость до 6 500 км/ч). Системы отличны друг от друга технически, но объединяет их использование искусственной воздушной среды для снижения сопротивления воздушной среды движущемуся поезду.

Главными преимуществами нового транспорта по сравнению с конкурентными видами (авиация, традиционный железнодорожный, водный транспорт, автомобильный транспорт) в том или ином случае является высокая скорость транспортировки, большая грузоподъемность, возможность перевозить крупногабаритные грузы, безопасность (отсутствие движущихся частей в системе левитации, отсутствие возможности столкновения, независимость от погодных условий и др.), экологичность системы (полное отсутствие вредных выбросов, полное отсутствие шума и др.), относительно низкая стоимость транспортировки и энергопотребление.

К числу недостатков системы можно отнести конструктивно-технологическую сложность изготовления, высокие начальные вложения в строительство вакуумного поезда и вакуумного транспортного пути (ВТП).

1.2. Эволюция транспортных систем. Основные особенности вакуумно-левитационной транспортной системы.

Скоростные характеристики транспортного средства, будь то самолет, поезд, автомобиль, зависят не только от мощности его двигательной установки, но и от способности изменять и приспособлять конструкцию к окружающей среде с целью снижения энергозатрат, а именно:

- менять геометрическую форму (форма фюзеляжа самолета, форма скоростного поезда изменены в угоду аэродинамике, изменять геометрию сопряжения поверхности бандажа колесной пары с поверхностью головки рельса, токоприемник – контактный рельс);
- менять принципы передачи энергии в движение (замена у поезда системы колесо-рельс на систему магнитной левитации для снижения трения о рельсы).

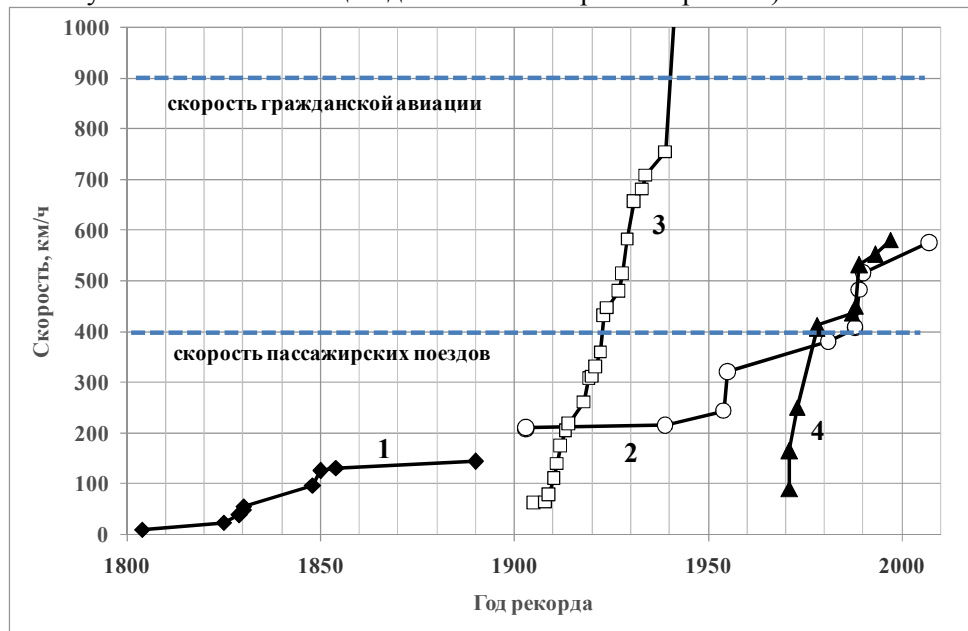


Рис. 2. Рекорды скорости для некоторых видов транспорта.

1 – Паровоз; 2 – Электровозы и тепловоз; 3 – Гражданская авиация; 4 – Поезда на основе магнитной левитации.

Поэтому, часто возникает ситуация, при которой повышение мощности двигателя технически возможно, но нецелесообразно с экономической точки зрения, поскольку приспособление к условиям окружающей среды является слишком затратным (Рис. 2).

Например, скорость гражданской авиации - около 850 км/ч, хотя рекорд скорости для самолета составляет 7297 км/ч (1967 г.), или поезда перевозят пассажиров со скоростями 80-350 км/ч, хотя рекорд скорости – 581 км/ч (2003 г.). В обоих случаях дальнейшему увеличению скорости мешает аэродинамическое сопротивление.

Аэродинамическое сопротивление возрастает как квадрат скорости, а энергозатраты как куб скорости. К примеру, при увеличении скорости в 2 раза, аэродинамическое сопротивление возрастает в 4 раза, а энергозатраты в 8 раз. Энергетический фактор, наряду с шумовыми последствиями и ограничениями по сцеплению колес с рельсами, и токоприемника с контактным проводом является определяющим предельную скорость рельсового транспорта.

Возможное решение задачи по снижению аэродинамического сопротивления для наземного рельсового транспорта – замена окружающей среды на искусственно созданную, в которой аэродинамическое сопротивление будет мало, например, поместив состав поезда в тоннель с искусственно созданным пониженным давлением.

Данное решение не является новым, оно было предложено более ста лет назад, первые в мире опыты с перемещением тела в вакуумной трубе за счёт электромагнитного поля поставил в 1911 – 1913 годах в Томском технологическом институте российский профессор Борис Петрович Вейнберг [4]. Однако реализация этих идей в тот период оказалась практически невозможной. Вместе с тем развитие человечества показывает, что человек – единственное существо на Земле, которое не приспособливается к окружающей среде, а с той или иной степенью успеха меняет ее под себя, т.е. в процессе деятельности преобразует окружающую среду под свои задачи.

Основные особенности новой транспортной системы:

1. Горизонтальный вектор движения левитирующего в магнитном поле подвижного состава достигается электрическим линейным двигателем;

2. Электромагниты, установленные на поезде и на магнитном рельсовом пути, поддерживают состав в подвешенном положении на определенном расстоянии от полотна, которое составляет, обычно, по разным источникам, от 8 до 15 мм (отдельные оценки предполагают возможность значительно большего зазора);
3. Давление внутри герметичного салона поезда поддерживается около 1 атм. Давление за его пределами в объеме вакуумного тоннеля может составлять порядка 0,0001 атм. (10 Па);
4. Оболочка салона для пассажиров воздухонепроницаема, выдерживает внутреннее давление без разгерметизации, имеет безопасную резонансную частоту, выдерживает продольные, поперечные, радиальные нагрузки (аэродинамика, разгон, поворот поезда и др.), имеет малый вес;
5. Площадь сечения вакуумного тоннеля по предварительным оценкам может быть на 40% больше площади сечения поезда. Это связано с аэродинамикой состава, размещением оборудования, возможностью эвакуации пассажиров в экстренных случаях. Диаметр вакуумного трубопровода зависит от компоновки салона для пассажиров, грузов и конструкции системы магнитного подвеса;
6. Салон имеет систему жизнеобеспечения, которая поддерживает соответствующее содержание кислорода в воздухе, комфортную температуру и влажность воздуха;
7. Вакуумный трубопровод имеет изолирующие газ заслонки (шлюзы), необходимые для эффективной откачки газа из трубы, а также при возникновении аварийных ситуаций, ремонте, поиске течей;
8. Другие особенности.

1.3. Определение сегментов рынка вакуумно-левитационного транспорта с учетом его возможностей на рынке пассажирских перевозок.

Существенное влияние на выбор скоростных параметров, а, следовательно, и конкурентные характеристики для вакуумно-левитационного транспорта будет оказывать величина физиологически допустимого ускорения для пассажиров.

Реальные (усредненные) ускорения транспортных средств, которые переносят пассажиры составляют: на электропоездах – $0,6 \div 0,7 \text{ м/с}^2$, в поездах метро – $1,3 \text{ м/с}^2$, а при полете на реактивном пассажирском самолете – $1,6 \div 1,7 \text{ м/с}^2$.

Если принять реализуемое реактивным самолетом ускорение ($1,7 \text{ м/с}^2$) за физиологическую норму, то для разгона левитационной капсулы в вакуумной среде до 1000 км/ч потребуется 23 км или 163 секунд.

При этом в одной поездке с учетом цикла «разгон-замедление» физиологическое воздействие ускорения на человека будет оказываться в течение 326 секунд (5 минут 26 секунд). Максимальное ускорение при взлете реактивного самолета пассажир испытывает в течение только 25 секунд.

Поэтому допустимое ускорение (которое фактически будет определено на основе специальных исследований и испытаний) для проектной оценки можно принять от 1 до $1,3 \text{ м/с}^2$.

Такие же параметры можно учитывать и для оценки параметров торможения.

Таким образом, если принять, что ускорение и торможение поезда одинаково и равно 1 м/с^2 (чуть меньше, чем в метро), то для разгона левитационной капсулы в вакуумной среде до 1000 км/ч потребуется 38,6 км или 277 секунд (4 мин 37 секунд). Для реализации движения только в режиме разгон-торможение потребуется не менее 77 км (при разгоне до 1000 км/ч).

Если принять структуру поездки в параметрах: 10 процентов разгон, 10 процентов торможение, 80 процентов – езда в режиме конструкционной скорости 1000 км/час, то минимальная длина маршрута при ускорении 1 м/с^2 должна составлять 385 км, а время следования по маршруту составит около 28 минут. На маршруте протяженностью 650 км, время в пути составит 48 минут (в т.ч. 9 минут – режим разгона-замедления и 39 минут – равномерное движение). Эти оценки можно использовать для предварительного выбора целесообразной сферы применения вакуумно-левитационных транспортных систем.

Рассмотрим сегменты рынка пассажирских перевозок, которые может занять вакуумно-левитационная транспортная система.

1.3.1. Метрополитен.

Ниша не может быть занята.

Предельная скорость сообщения между подземными станциями, которую смогут в будущем обеспечивать технически более совершенные, чем сегодня, вагоны метрополитена, не превысит 50 км/ч [5]. Она ограничена предельно допустимыми для пассажира ускорениями и замедлениями вагонов, условиями стабильности и безопасности движения поездов и пр. Под стабильностью движения здесь понимается возможность для поездов устойчиво реализовывать заложенную в график движения скорость сообщения даже при случайных задержках на станциях. В случае задержки на станции поезд должен обеспечить нагон упущенного времени непосредственно на следующем перегоне. Если ему не удастся этого сделать, то на следующей станции его будет ожидать большее, чем обычно, количество пассажиров и вероятность очередной задержки на станции возрастет. Следствием этого может стать сбой графика движения.

Внеплановые задержки поездов на станциях в часы «пик» происходят регулярно и составляют от 5 до 10 секунд. Необходимость иметь десятисекундный запас времени хода на нагон случайных опозданий в наибольшей степени ограничивает возможность построения графика движения поездов со скоростями сообщения более 50 км/ч.

1.3.2. Городской экспресс и аэроэкспресс.

Ниша не может быть занята.

Сегодня появляются новости о возможности применения вакуумного поезда в качестве аэроэкспресса [6]. Такой вид транспорта необходим для обеспечения ускоренных транспортных связей с крупными пригородными районами, аэропортами или городами-спутниками с минимальным числом остановок на маршруте. Например, городской экспресс Москва – Новая Москва, расстояние 40 км.

Однако из-за маленького расстояния между остановками время в пути для вакуумного поезда будет сопоставимо с ВСМ или Маглев (Таблица 1).

Эта ниша прекрасно подходит для них, а проблему шума можно решить более экономичным способом – установкой звукоизоляционных щитов.

Таблица 1. Городской экспресс Москва – Новая Москва (40 км)

	Вакуумный поезд	Маглев	ВСМ
Расстояние между остановками, км	40	40	40
Ускорение при разгоне, м/с ²	1	1	1
Максимальная скорость, км/ч	720	450	350
Время в пути (40 км), мин	7	7,5	8,5
Время высадки – посадки, мин	5	5	5
Путь разгона, торможения (принимается равным), км	20	7,8	4,7

1.3.3. Пригородные электропоезда.

Ниша не может быть занята.

Пригородные электропоезда предназначены для обеспечения транспортных связей городов с ближайшими пригородами, а также между соседними населенными пунктами, они предназначены для перевозок на расстояния примерно до 200 км. Среднее расстояние между остановками на маршрутах, обслуживаемых пригородными электропоездами, обычно составляет от 2,5 до 5,0 км. По причине малого расстояния между остановками эта ниша тоже не может быть занята вакуумным поездом.

1.3.4. Межрегиональные поезда (местные).

Ниша может быть занята.

Межрегиональные поезда применяются на маршрутах поездов пригородного и дальнего сообщений с устойчивым пассажиропотоком на расстояния до 1000 км между городами с остановками только в крупных населенных пунктах или без промежуточных остановок на маршруте. В таблице 2 рассмотрен вариант межрегионального и дальнего сообщения с остановками каждые 100 км и дальностью 500–1000 км.

Таблица 2. Межрегиональное сообщение с остановками каждые 100 км

	Вакуумный поезд	Маглев	ВСМ
Общее расстояние, км	1000	1000	1000
Расстояние между остановками, км	100	100	100
Ускорение при разгоне, м/с ²	1	1	1
Максимальная скорость, км/ч	1000	450	350
Время в пути между остановками (100 км), мин	10,6	15,5	18,7
Общее время в пути, включая время высадки-посадки, мин/ч	128/2,1	176/2,9	210/3,5
Время высадки – посадки, мин	2	2	2
Путь разгона, торможения (принимается равным), км	38,6	7,8	4,7
Время разгона, торможения (принимается равным), мин	4,6	2,1	1,6

1.3.5. Поезда дальнего следования.

Ниша может быть занята.

Поезда дальнего следования следуют на расстояния от 500 км с остановками только в крупных населенных пунктах или без промежуточных остановок на маршруте. В Таблице 3 рассмотрен вариант поезда дальнего следования следующий на расстояние 1000 км без остановок. Это может быть маршрут между крупными городами с большим населением, например, Москва-Санкт-Петербург, Москва-Екатеринбург, и др. Тем самым будет создана транспортная инфраструктура нового поколения, которая тесно свяжет крупные мегаполисы России и регионы РФ.

Таблица 3. Поезда дальнего следования (1000 км)

	Вакуумный поезд	Маглев	ВСМ
Общее расстояние, км	1000	1000	1000
Расстояние между остановками, км	1000	1000	1000
Ускорение при разгоне, м/с ²	1	1	1
Максимальная скорость, км/ч	1000	450	350
Общее время в пути без остановок, мин/ч	64,6/1,1	135,4/2,3	173/2,9
Путь разгона, торможения (принимается равным), км	38,6	7,9	4,7
Время разгона, торможения (принимается равным), мин	4,6	2,1	1,6

1.4. Определение ниши вакуумно-левитационного транспорта с учетом его возможностей на рынке грузовых перевозок.

Ниша может быть занята частично.

Расстояние транспортировки товаров вакуумно-левитационным транспортом, также как и для перевозки пассажиров может быть от 500 км и выше [7].

При перевозке грузов (товаров) очень многое зависит от логистики. Как правило, использование только одного вида грузового транспорта недостаточно, логистами прорабатываются все точки отправления, прибытия, перегрузки между разными видами транспорта, формируя мультимодальную перевозку.

Поэтому перспективность применения вакуумно-левитационного транспорта для этих целей должна рассматриваться не только с учетом скорости доставки, но и удобства и эффективности мультимодальной интеграции всего транспорта в единую бесшовную услугу. Например, вакуумный поезд может перевести груз на 1000 км за 1 час, но разгрузка, оформление на таможне, транспортировка на авто до адресата может занять несколько дней.

Однако есть категории потребителей, которым доставка товара необходима в кратчайшие сроки. Это, например, покупатели интернет-магазинов и производители электронной техники.

При должной бесшовной организации перевозок, вакуумно-левитационная система может занять свою нишу, существенно потеснив авиадоставку. Это может быть доставка одежды, медикаментов, электроники, скоропортящихся товаров, косметики, бижутерии, запчастей на комплектующие для автомобилей и техники и др.

1.5. Выводы.

Рассматриваемая вакуумно-левитационная транспортная система с учетом специфики разгона может заполнить ниши:

1. Недорогих высокоскоростных перевозок с большим пассажиропотоком на средние расстояния (500 – 1000 км). При этом, конкуренция будет как с воздушным, так и с высокоскоростным железнодорожным транспортом (рис 3,4);
2. Высокоскоростных перевозок на дальние расстояния (от 1000 км/ч). При этом конкуренция будет с воздушным транспортом (рис.3,4);
3. Транспортировки товаров электронной торговли на расстояния от 500 км и выше (одежды, медикаментов, электроники, скоропортящихся товаров, косметики, бижутерии, запчастей, а также комплектующих для автомобилей и техники и др.).

При этом конкуренция будет с воздушным транспортом (рис 3,4).

Возможность использования одного пути для всех перевозок потребует организации специальных съездов, разъездов и терминалов.

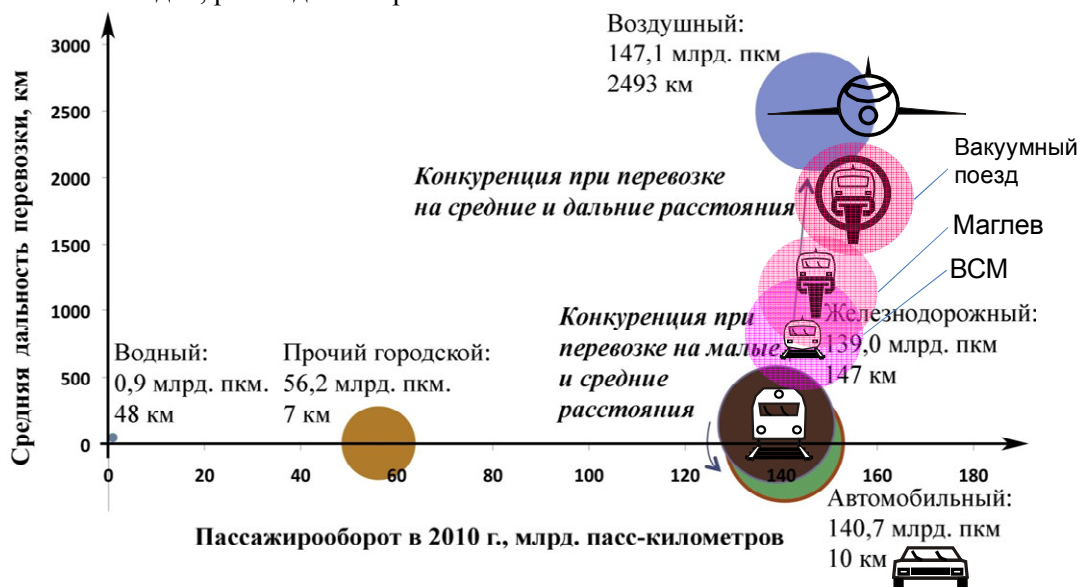


Рис. 3. Межвидовая конкуренция на пассажирском транспорте.

Источник данных – Росстат [1].

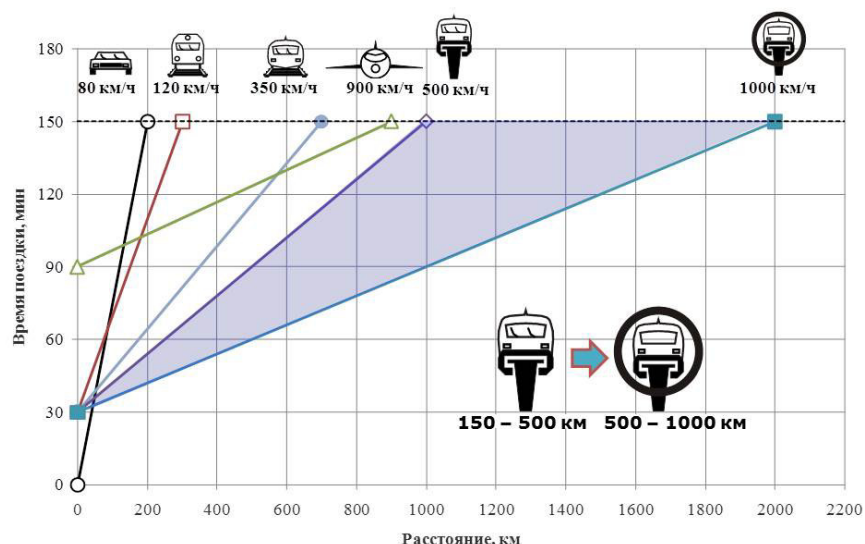


Рис. 4. Рациональные сферы применения пассажирского транспорта на основе магнитной левитации в разреженной среде. Слева направо: 1 – личный автомобиль; 2 – скорый рельсовый наземный транспорт; 3 – высокоскоростной рельсовый транспорт; 4 – авиация; 5 – маглев; 6 – вакуумный поезд

Несмотря на очевидные перспективы применения вакуумно-левитационной системы в некоторых сегментах транспортного рынка данный проект пока воспринимается весьма скептически, отчасти это связано с отсутствием подробного технико-экономического анализа и технологической проработки новой системы, и связанных с этим рисков. Данные вопросы в настоящее время только начинают прорабатываться в России [8,9].

Вместе с тем, очевидно, что вакуумно-левитационные технологии движения транспортных средств могут стать реальным ответом на взрывной рост требований общества к качеству и скорости транспортировки товаров и перемещения пассажиров в эпоху революции информационных технологий.

Литература

1. Оценка крупных инфраструктурных проектов. Задачи и решения // rzd.ru: сайт Российские железные дороги. 2013. URL. http://rzd.ru/dbmm/download?vp=1&load=y&col_id=121&id=71716 (дата обращения 30.06.2016).
2. РФПИ и РЖД обсуждают пилотные проекты по применению технологии Hyperloop // Риа Новости. 2016. URL. <http://ria.ru/economy/20160622/1449639464.html> (дата обращения 30.06.2016).
3. В России работают над аналогами вакуумного поезда Hyperloop // Риа Новости. 2016. URL. <http://ria.ru/economy/20160520/1436931658.html> (дата обращения 30.06.2016).
4. Перельман Я. И. Без трения // Занимательная физика. - Л.: Время, 1932. - Т. 2. - С. 171-173. - 260 с.
5. Гаврилов Я.И., Мнацаканов В.А. Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями. М., Транспорт, 1986, 230с.
6. Hyperloop в Москве могут пустить в аэропорты и в Новую Москву// Риа Новости. 2016. URL. <http://ria.ru/moscow/20160617/1449031333.html> (дата обращения 30.06.2016).
7. Лапидус. Б. М., Мачерет Д. А. Методология оценки обеспечения эффективности инновационных транспортных систем // Экономика железных дорог. 2016. № 7. С. 16–25.
8. В России планируют создать концепцию системы "летающих" поездов// Риа Новости. 2016. URL. <http://ria.ru/science/20160318/1392431702.html> (дата обращения 30.06.2016).
9. Власти Москвы поручили изучить возможность применения Hyperloop в столице // Риа Новости. 2016. URL. <http://ria.ru/economy/20160617/1449031025.html> (дата обращения 30.06.2016).