

УДК 621.3:331.45+629.439.027.34

Ю. Ф. Антонов¹, В. Ли²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

²Харбинский Университет науки и техники

СВЕРХЗВУКОВОЙ НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ В РАЗРЕЖЕННОЙ СРЕДЕ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА: ПРОРЫВНОЕ ИЛИ ТУПИКОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ

Дата поступления: 19.01.2017

Решение о публикации: 27.03.2017

Дата публикации: 30.04.2017

Аннотация: Решением задачи организации сверхскоростного движения наземного транспорта может являться комбинированная транспортная система, предполагающая движение транспортной единицы в разреженной средеограниченного пространства, с использованием принципов магнитной левитации. Применение такой системы позволит существенно увеличить скорость транспортной единицы вплоть до сверхзвукового диапазона и кардинально увеличить, например, объемы грузоперевозок за счет следующих факторов:

1. Снижение аэродинамического сопротивления воздуха при движении;
2. Отсутствие прямого контакта транспортной единицы с нижним строением пути и как следствие полное отсутствие трения;
3. Отдельные выделенные линии допускают использование конструкций, позволяющих обеспечить существенное увеличение грузопотока.

Постановка задачи: Исследование базовых принципов движения транспортной системы на основе магнитной левитации в разреженной среде, моделирование ключевых процессов, определение основных параметров новой транспортной системы и установление их оптимального соотношения, приведенного к условиям безопасной и энергоэкономичной эксплуатации, оценка возможных рисков, связанных с использованием данного вида транспорта, как для грузовых, так и для пассажирских перевозок.

Ключевые слова: левитация, массив halbach, мощность, магнит, пассивная масс-пружинно-демпферная система, система левитации, стабилизация, торможение, литий-ионный аккумулятор

Yu. F. Antonov¹, V. Li²

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

²Harbin University of Science and Technology

**SUPERSONIC LAND TRANSPORT IN THE DISTURBED ENVIRONMENT
OF THE LIMITED SPACE: BREAKTHROUGH OR DIRECT DIRECTION**

Abstract: the solution of the problem of organizing super-high-speed ground transport can be a combined transport system that presupposes the movement of a transport unit in a rarefied environment of an unlimited space, using the principles of magnetic levitation. The use of such a system will significantly increase the speed of the transport unit up to the supersonic range and dramatically increase, for example, the volumes of cargo transportation due to the following factors:

1. Reduction of aerodynamic resistance of air during movement;
2. The lack of direct contact of the transport unit with the lower structure of the path and, as a consequence, the complete absence of friction;
3. Separate leased lines allow the use of structures to ensure a significant increase in cargo traffic.

Problem statement: study of the basic principles of motion of the transport system based on magnetic levitation in a rarefied environment, modeling of key processes, determination of the main parameters of the new transport system and establishing their optimal ratio, reduced to safe and energy-efficient operation conditions, assessment of possible risks associated with the use of this type transport, both for freight and passenger transportation.

Keywords: levitation, halbach array, power, magnet, passive mass-spring-damper system, levitation system, stabilization, braking, lithium-ion battery

Предыстория

Идея пассажирского трубопровода начинает свою историю с 1667 г., когда французский физик Дени Папен предлагал использовать сжатый воздух для переправки грузов по трубе. Во второй половине XIX века в Европе рассматривались возможности строительства "атмосферических железных дорог".

Идея вакуумного поезда была выдвинута в 1911 году российским физиком Борисом Вейнбергом [4] (рис. 1).

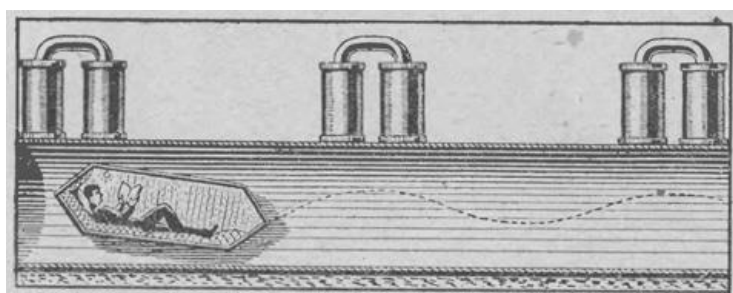


Рис. 1. Вакуумный поезд Б. П. Вейнберга

В 1911 году профессор Томского технологического института (ТТИ) Б. П. Вейнберг построил установку, в которой вагончик массой 10 кг бегал по 20-метровому кольцевому путепроводу из медной трубы диаметром 32 см. В своей установке Вейнберг использовал электромагнитную левитацию (ЭМЛ), и линейный синхронный электродвигатель (ЛСД). Капсула-вагон

подвешивалась под электромагнитами, которые передавали ее по цепочке от одного к другому.

После успешно проведенных в 1911 – 1913 гг. опытов был разработан проект экспериментальной трассы, на которой предполагалось достичь скорости 800 - 1000 км/ч. Полностью автоматизированная дорога в двухпутном варианте должна была пропускать 15 тыс. пассажиров в сутки в одном направлении.

В марте 1917 года журнал The Electrical Experimenter публикует статью о новом виде транспорта (рис. 2).

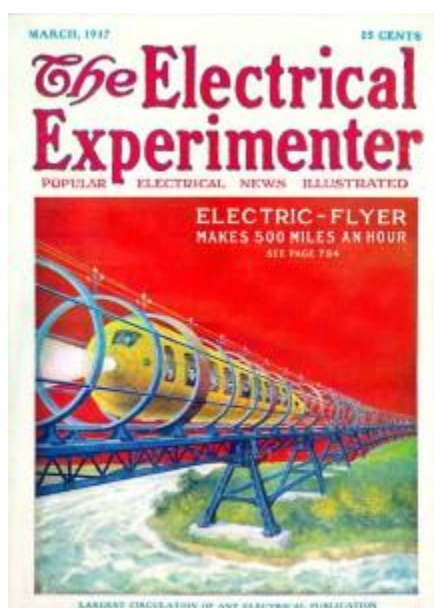


Рис. 2. Обложка журнала The Electrical Experimenter за март 1917

После революции и войны моделирование ключевых процессов разработки такого вида транспорта были прекращены. Новый вид наземного транспорта, изображенный на обложке журнала (рис. 2), во многом соответствует технологии ЕТТ (см. ниже).

Технология «ЕТТ»: Магнитолевитационный транспорт в вакуумной трубе

В Китае в лаборатории Юго-Западного университета Цзяотуна (Southwest Jiaotong University) реализуется долгосрочная программа научных исследований магнитолевитационной технологии ЕТТ (Evacuated Tube Transportation). Ее цель: создание сверхвысокоскоростного магнитолевитационного транспорта. Программа начата в 2001 г. и должна быть завершена в 2020 г [2].

В основе программы лежит магнитолевитационная транспортная технология «вакуумной транспортной трубы». Транспортное средство,

представляющее собой капсулу в виде герметичного модуля небольшой вместимости, обладающая левитационными качествами, разгоняется с помощью линейного синхронного двигателя до номинальной скорости и далее передвигается в трубе к пункту назначения без дополнительных затрат мощности. В трубе, из которой выкачан воздух, вследствие чего практически нет аэродинамического сопротивления, можно достичь скорости 1000 км/ч и даже сверхзвуковые – до 8000 км/ч. Вакуумная транспортная труба (две трубы – в прямом и обратном направлении) прокладывается под землей либо на эстакаде (рис. 3).



Рис. 3. Эстакадный вакуумный трубопроводный наземный транспорт ЕТТ

В лаборатории Southwest Jiaotong University в настоящее время создается прототип транспортного средства, который проектируется на среднюю скорость 500-600 км/ч. Небольшая модель такого транспортного средства будет построена в течение 2-3 лет. Предполагается, что она сможет развивать скорость до 1000 км/ч [7].

Предпосылки

Американский изобретатель Дэрил Остер (Daryl Oster) в 1980 г. предложил идею новой (см. Предыстория) транспортной технологии. К 1990 г. он детально проработал эту технологию и в 1999 г. получил на нее патент. Система скоростного транспорта будущего принята к разработке в

специально созданной автором идеи компании Evacuated Tube Transport Technologies (ЕТТ).

Китайский специалист Чжан Яопин (Zhang Yaoping) [1], доктор технических наук по транспортной инженерии, познакомившись с патентом Дэрила Остера, высказал мысль о том, что данная транспортная технология является наилучшей для Китая и всего мира. В 2001 г. в Китае была куплена соответствующая лицензия.

По мнению китайского ученого Шена Жиуана (Shen Zhiyun) , члена Китайской Академии Наук, вакуумная транспортная технология позволяет достичь сверхзвуковых скоростей [5]. Его коллега Чжан Яопин, являющийся, кроме того, другом патентодержателя на технологию ЕТТ Остера, и эксперт по магнитной левитации Ванг Джиасу (Wang Jiasu) занимаются данной проблемой с 2002 г., т.е. практически с тех пор, как по приглашению китайской стороны состоялся многомесячный визит в Китай Дэрила Остера с супругой. В пользу вакуумной транспортной технологии ЕТТ высказалась Китайская Академия Наук, а также NJT университет в Пекине и проектно-конструкторский институт китайского министерства железных дорог. Во время 4-х месячного пребывания в Китае Дэрил Остер оказал помощь доктору Чжану (Dr. Zhang) в организации исследований по ЕТТ в топовом университете по транспортным технологиям в Ченгду (SWJT University Chengdu).

По мнению китайских ученых, использование вакуумной стальной трубы вместо вакуумного туннеля, как это предлагается в США, является более простым и дешевым в воплощении техническим решением [6].

Вакуумная труба будет стоить менее 3 млн. долл. Это значительно меньше, чем затраты на сооружение трассы для рельсового транспорта, движущегося со скоростью 600 км/ч.

Пассажир занимает место в капсуле и путешествует в вакуумной трубе диаметром 1,5 м. Воздух из трубы постоянно выкачивается. Капсула ускоряется с помощью линейного синхронного двигателя. Т.к. в вакуумной трубе практически нет аэродинамического сопротивления, то для движения капсулы на большей части пути практически не требуется затрат энергии. Кроме того, когда капсула тормозится, энергия регенерируется. В результате энергетические затраты на передвижение данного транспортного средства оказываются в 50 раз меньше, чем традиционного транспортного средства с электрической тягой. Оптимальная скорость движения по территории государства – 600 км/ч, между государствами – 6 500 км/ч. К примеру, расстояние между Вашингтоном и Пекином может покрываться за 2 часа. Путешествие вокруг Света займет около 6 часов.

Перед посадкой в транспортное средство пассажир вводит наименование станции через компьютерный терминал и занимает свое место в капсуле (рис. 4).



Рис. 4. Автоматизированная загрузка и выгрузка капсул. Иллюстрация ET3.com

Капсула весом 183 кг, как автомобиль, доставляет 6 пассажиров (капсула повышенной комфортности) общим весом 367 кг или соответствующий груз. По сравнению с традиционным высокоскоростным транспортным средством стоимость материалов для изготовления капсул сопоставимой вместимости в 20 раз ниже.

Скорость капсулы зависит от расстояния. При ускорении 1 м/с^2 , соответствующим санитарным нормам, для достижения капсулой скорости 6440 км/ч необходимо затратить 180 с. В течение этого времени покрывается расстояние 161 км. На трассах протяженностью до 1000 км крейсерская скорость транспортного средства должна составлять $\sim 600 \text{ км/ч}$.

Капитальные затраты на строительство магистрали с вакуумной трубой в 10 раз меньше, чем на аналогичную по протяженности рельсовую дорогу, и в 4 раза меньше, чем на автостраду (табл. 1, 2). Пропускная способность пары труб (в прямом и обратном направлении) соответствует автомагистрали с 2x16 полосами.

В 6 странах приобретено 60 лицензий ЕТТ стоимостью 100 долл. каждая, при условии 6-процентных отчислений от будущих доходов.

Таблица 1. Некоторые технические данные ЕТТ

Размеры и материал вакуумной трубы ЕТТ	Диапазоны скоростей
Внутренний диаметр 2÷5 м	Дозвуковой 600÷1 000 км/ч
Длина 600÷10 000 км	
Толщина стенки трубы: 20 мм, 18 мм, 16 мм и 14 мм, соответственно для труб с внутренним диаметром 5, 4, 3 и 2 м	Сверхзвуковой 6 000÷10 000 км/ч
(Железо) бетонная + стальная (толщина 3÷10 мм)	

Таблица 2. Потребность в конструкционных материалах и их стоимость

Диаметр вакуумной трубы, м	Толщина стенки стальной трубы, мм	Объем конструкционных материалов, м ³	Масса конструкционных материалов, т	Стоимость 1 км стальной вакуумной трубы, млн. юань
5	20	315,256	2459,0	12,295
4	18	227,097	1771,4	8,857
3	16	151,523	1181,9	5,909
2	14	88,535	690,6	3,453

Глобальный проект «Трансатлантический туннель»

Впервые идея туннеля между Лондоном и Нью-Йорком, в варианте с магнитной левитацией вагонов и откачкой воздуха, выдвинута в 1960-х годах и позже всплывала несколько раз. Проект не рассматривался в рабочем порядке, так как по оценкам специалистов сооружение плавающего или закрепленного на якорях трубопроводного транспортного сооружения является сложнейшей технической задачей и требует финансовых затрат в несколько триллионов долларов.

На рис. 5 иллюстрируется один из футуристических проектов трансатлантической вакуумной магнитолевитационной трассы.

Техническое решение одного из вариантов реализации вакуумной транспортной технологии ЕТТ воспроизводит рисунок из патента Дэрила Остера, US Patent 5950543 (рис. 6).

Проблемы реализации проекта по технологии ЕТТ

- Материалы и технология строительства вакуумной трубы.
- Вакуумное оборудование.
- Технология создания, контроля и поддержания вакуума в трубе.
- Отвод тепла из транспортного средства.
- Конструктивные решения и бортовое оборудование для обеспечения герметичности транспортного средства.
- Защита вакуумной трубы от возможности электрического разряда в ней.

Мнение специалистов Института медико-биологических проблем РАН

Идея создания вакуумного поезда интересна, но сопряжена с большим риском для пассажиров. Ведь в случае разгерметизации летящих, как пневмопочта, кабинок люди погибнут в считанные секунды. Если воздух будет просто разряжен, тогда спасти их будет проще, надев на всех кислородные маски и как можно быстрее причалить к ближайшей станции. В таком случае риск будет меньше, чем при разгерметизации самолета.

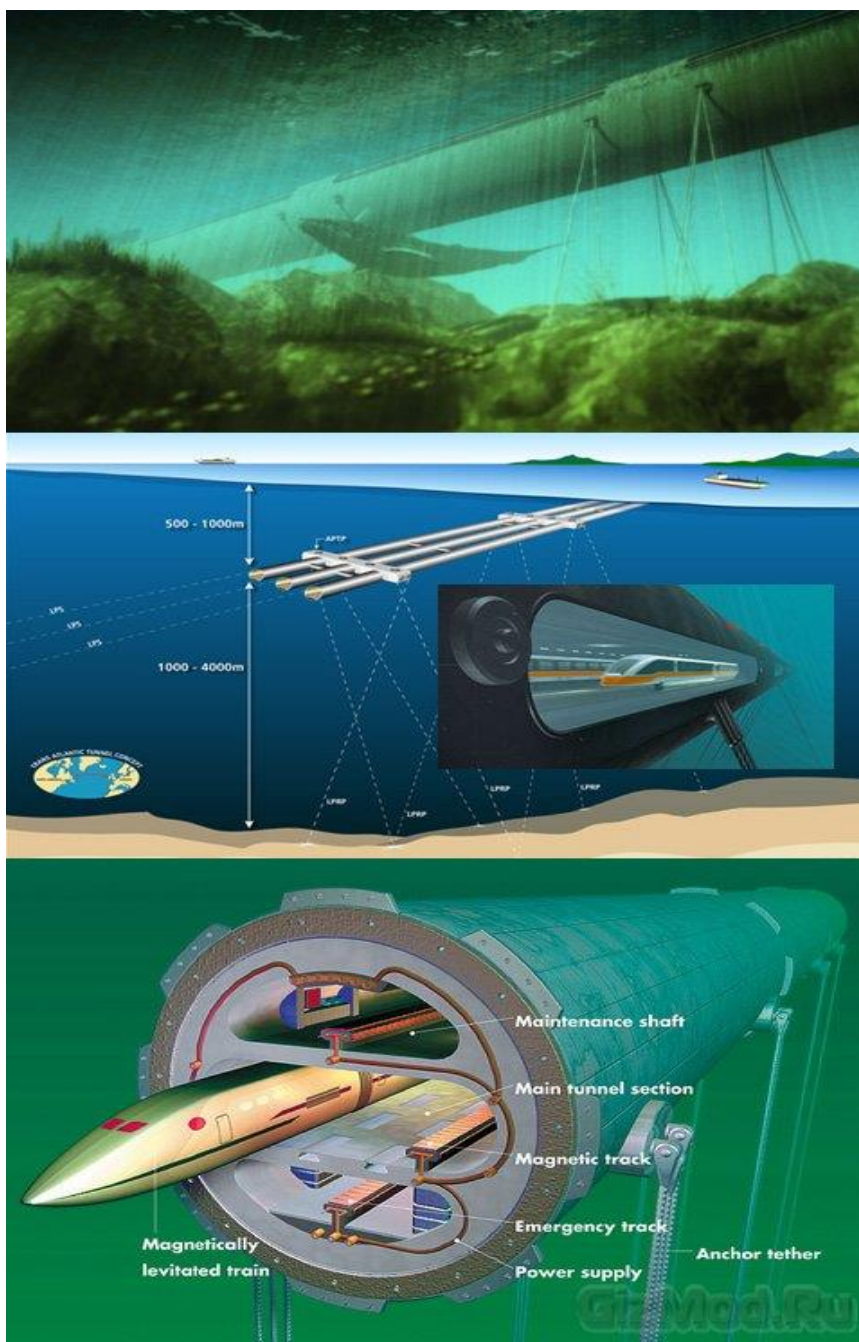


Рис. 5. Трансатлантический туннель. Иллюстрации Discovery Communications, travelvice.com, sketchucation.com, tunneltalk.com

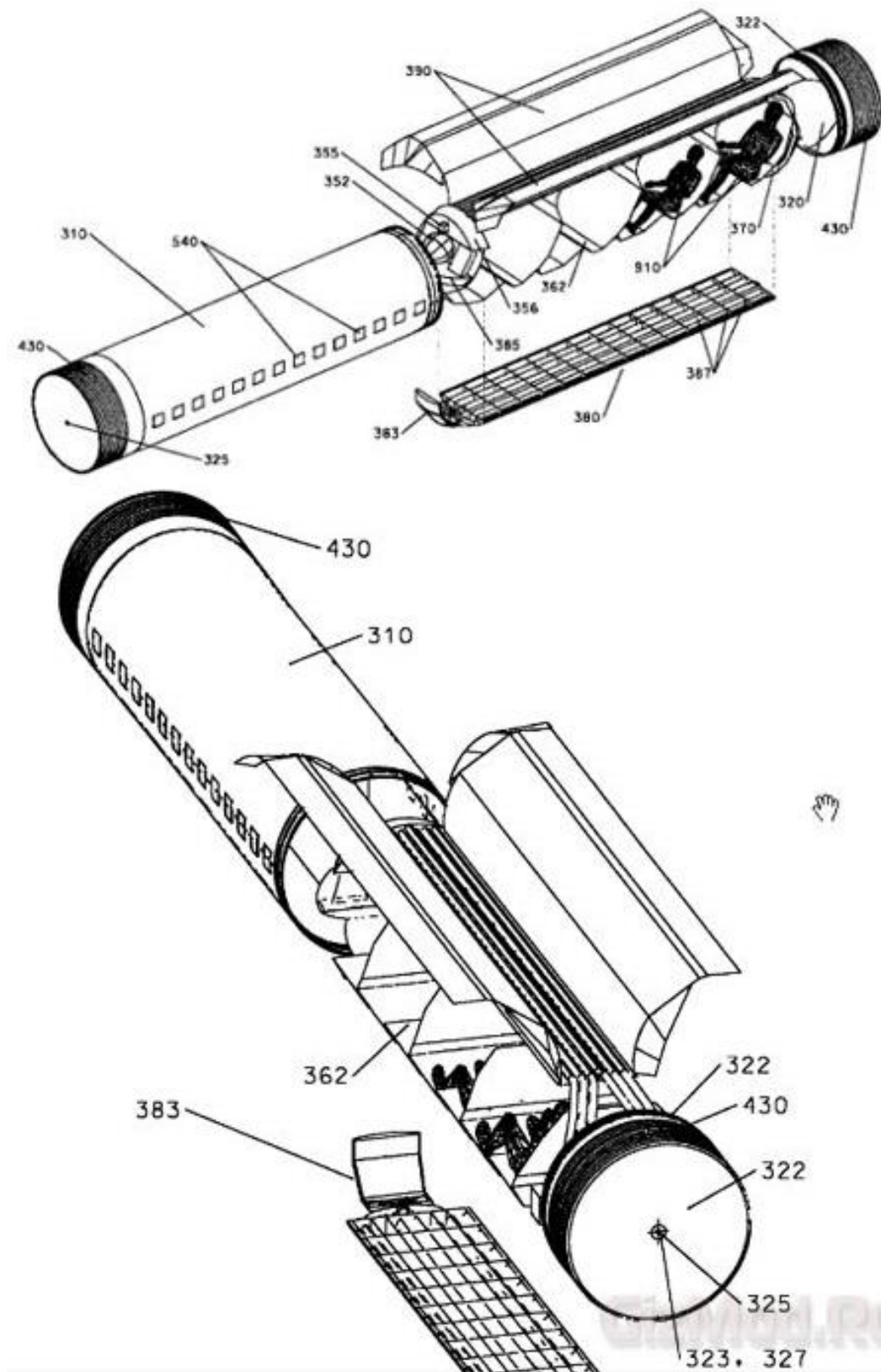


Рис. 6. Вакуумная транспортная труба и стартовая станция.
Иллюстрация ET3.com

Заключение

В статье рассмотрены следующие вопросы:

1. Определены оптимальные соотношения основных параметров системы, а именно: скорость – степень разрежения – габариты – грузоподъемность – энергоэффективность;
2. Определены риски при создании пассажирской транспортной системы;
3. Определены риски при создании грузовой транспортной системы;
4. Осуществлен выбор и обоснование способа создания и поддержания требуемого разрежения воздуха;
5. Произведена предварительная оценка энергетических затрат для обеспечения требуемого разрежения;
6. Произведена предварительная оценка особенностей применения магнитолевитационных технологий в разрабатываемом виде транспорта.

Результаты полученные на данном этапе работы и изложенные в статье, используются для дальнейшего физико-математического моделирования ключевых процессов работы транспортной системы.

Постскриптум

России предлагают создание пути и поезда для сверхскоростных перевозок больших и тяжелых грузов, а также пассажиров. Поезд этот должен быть на основе магнитной левитации, то есть он должен двигаться на магнитной подушке. Тяговый двигатель - линейный синхронный. Для устранения сопротивления воздуха сверхбыстрому движению поезда его рекомендуют перемещать в вакуумной трубе. Однако вряд ли целесообразны и обоснованы такие скорости поезда, при которых воздух становится недопустимым препятствием. Есть, вероятно, в этом проекте много других умозрительных, слишком затратных и почти нереализуемых идей. Обеспечение вакуума в трубе и воздуха в вагонах – это большие и неоправданные дополнительные издержки и сложности. Поэтому авторы данного проекта пусть сперва сами сделают у себя такой супертранспорт, и только потом с уверенностью предлагают другим следовать их примеру. У нас должен быть свой, более реальный, простой, эффективный и менее затратный альтернативный проект сверхскоростного поездного транспорта.

В связи с вышеизложенным, в реальном проекте вакуумная труба должна быть исключена по ряду причин:

- Во-первых, сопротивление воздуха не критично и невелико по сравнению с силой тяги линейного синхронного двигателя.
- Во-вторых, атмосферный воздух можно и нужно использовать для создания дополнительной (наряду с левитацией) подъемной силы поезда над магнитным полотном путепровода (дороги).

Решения такого рода проблем на данный момент есть. Достаточно обратиться к опыту конструирования и технологии движения российских экранопланов, создававшихся под руководством главного конструктора Р. Е. Алексеева. Как известно, экраноплан – это своего рода гибрид корабля и самолета. В нем от самолета используется небольшой аэродинамический подъем судна над поверхностью воды или другой ровной поверхностью. Под днищем этого транспортного средства создается плотный поток воздуха, служащий подушкой или экраном, удерживающим экраноплан на небольшой высоте над водой. Этот же эффект надо использовать и для усиления подъема левитирующего магнитного поезда над желобообразным путепроводом. Сверхскоростной магнитолевитационный поезд тоже должен быть гибридным, то есть с элементами авионики, а для этого ему нужен атмосферный воздух. Конструктивные особенности этого самолетного элемента будущего магнитолевитационного сверхскоростного суперпоезда несложные. Это могут быть специальный носовой обтекатель, закрылки и шасси у днища вагонов. Принципиальным отличием будущего «летающего» суперпоезда будет использование в нем физического явления отталкивания бортовых и путевых магнитных полюсов, выполненных на базе использования высокоэнергетичных постоянных магнитов из редкоземельных металлов. И в этом вопросе есть оригинальные решения и практические наработки. Левитация с использованием постоянных магнитов не имеет электродинамического сопротивления, сопоставимого с аэродинамическим сопротивлением. В данном техническом решении отсутствуют потери и для работы не требуется электрическая мощность. Надо и можно по-новому решать принципиальные вопросы, опираясь на отечественные разработки, и тогда проблема создания сверхзвуковых грузовых и пассажирских поездов будет успешно решена. В обозримом будущем. Без привлечения непроверенных на практике зарубежных решений.

Библиографический список

1. Чжоу Л., Шэн З. Ю. – № 19 (1). – С. 1-6.
2. Шанхай из международного аэропорта Пудун Луцзяцзуй. – URL: <http://www.transrapid.de/> (дата обращения: 06.06.2016). (на китайском языке).
3. Яманаси Маглев тест линии. – URL: <http://www.rtri.or.jp/> (дата обращения: 06.06.2016).
4. Остер Д. Космическое путешествие на Земле. – URL: <http://www.et3.com> (дата обращения: 06.06.2016).
5. Шен З. Ы. О перспективах развития высокоскоростного транспорта эвакуированная пробка в Китае // Вестник Юго-Западной транспортной Университет, 2005. – № 40 (2). – С. 133-137 (на китайском языке).

6. Чжоу Х., Чжан Ю. П., Яо Ю. Ф. Численное моделирование аэродинамического сопротивления скоростной поезд в вакуумированной трубе // Науки, технологий и техники, 2008. – № 8 (6). – С. 1626-1628.

7. Чжан П. Ю., Ли С. С., Лю Б. Л. Составная структура пробки с стальной слой и слой бетона, который совпадает с эвакуированного транспорта трубка. Китайский патент: 201020540727.6, 2010.09.26 (на китайском языке).

References

1. Chzhou L. & Shehn Z. Yu. *Zhurnal sovremennogo transporta – Journal of Contemporary Transport*, 2011, no. 19 (1), pp. 1–6.

2. Shanhaj iz mezhdunarodnogo aehroporta Pudun Luczyaczuj [Shanghai from Pudong International Airport Lujiazui]. URL: <http://www.transrapid.de/> (2016/06/06) (In Chinese).

3. Yamanasi Maglev test linii [Yamanashi Maglev test line]. URL: <http://www.rtri.or.jp/> (2016-06-06).

4. Oster D. Kosmicheskoe puteshestvie na Zemle [Space travel on Earth]. URL: <http://www.et3.com> (2016/06/06).

5. Shen Z. Y. *Vestnik YUgo-Zapadnogo transportnogo Universiteta – The Bulletin of the South-Western Transport University*, 2005, no. 40 (2), pp. 133–137 (In Chinese).

6. Chzhou H., Chzhan Yu. P. & Yao Yu. F. *Nauki, tekhnologij i tekhniki – Science, technology and technology*, 2008, no. 8 (6), pp. 1626–1628.

7. Chzhan P. Yu., Li S. S. & Lyu B. L. Sostavnaya struktura probki s stal'noj sloj i sloj betona, kotoryj sovpadaet s ehvakuirovannogo transporta trubka. Kitaj patent: 201020540727.6, 2010/09/26 [A composite structure of cork with a steel layer and a layer of concrete that matches the evacuated transport tube. China Patent: 201020540727.6, 2010/09/26] (In Chinese).

Сведения об авторах:

АНТОНОВ Юрий Федорович, д.т.н., профессор Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

E-mail: yuri-anto@yandex.ru

ЛИ Вэйли, д.т.н., профессор Пекинского Джиатонг университета

E-mail: wlli@bjtu.edu.cn

Information about authors:

Yurij F. ANTONOV, Doctor of Technical Sciences, Professor of Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

E-mail: yuri-anto@yandex.ru

Weili LI, Doctor in Engineering, Professor in School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, E-mail: wlli@bjtu.edu.cn