



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,**  
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

**Б. Бордаш<sup>1</sup>, О. Красовская<sup>2</sup>, Н. Колосова<sup>3</sup>**

*Національний авіаційний університет, Київ, Україна*

*Эл. почта: <sup>1</sup>betti-13091990@mail.ru, <sup>2</sup>krasovska7@gmail.com, <sup>3</sup>natalia.kolosova@yahoo.com*

**Аннотация.** В статье рассматриваются принципы проектирования и формообразования высокоскоростного наземного транспорта. Определены основные факторы, влияющие на формообразование высокоскоростного наземного транспорта и перспективные тенденции развития.

**Ключевые слова:** высокоскоростной наземный транспорт, формообразование, высокоскоростная магистраль, маглев, вакуумный поезд.

### Введение

Сегодня в мире высокоскоростное движение осуществляется на специализированных магистралях (Япония, Франция, Германия, Италия, Испания и др.) или на реконструированных обычных железнодорожных линиях (Великобритания, Швеция, Финляндия, США и другие страны). Имеет место стремительное развитие и многовариантное проектирование данного вида транспорта.

Наиболее перспективным высокоскоростным наземным транспортом (далее ВСНТ), свободным от недостатков экипажей на воздушной подушке, являются поезда с магнитным подвешиванием и линейным двигателем для тяги. Известно большое число таких предложений. Наиболее известны три варианта подвешивания – на постоянных магнитах, электромагнитное и электродинамическое. Также перспективное развитие имеет система вакуумных поездов.

Целью работы является исследование принципов проектирования и формообразования ВСНТ, выявление факторов, влияющих на формообразование ВСНТ и перспективных тенденций развития ВСНТ.

ВСНТ – наземный железнодорожный транспорт, обеспечивающий движение скоростных поездов со скоростью свыше 200 км/ч (120 миль/ч). Движение

таких поездов, как правило, осуществляется по специально выделенным железнодорожным путям – высокоскоростной магистрали (ВСМ), либо на магнитном подвесе (Маглев). Также существуют разработки вакуумного поезда, которые имеют широкие перспективы развития.

Основными конкурентами ВСНТ являются автомобильный и воздушный транспорт. В поездках на расстоянии до 1000 км высокоскоростной железнодорожный транспорт может успешно конкурировать с ними по целому ряду причин.

Во-первых, время путешествия сравнимо с самолетом и значительно меньше, чем при пользовании автомобилем. К тому же, вокзалы, как правило, располагаются в центре городов, что сокращает общее время путешествия.

Во-вторых, ВСНТ обладают значительными стратегическими преимуществами, в частности, экономическими и экологическими: благодаря тому, что поезда используют электрическую энергию, экономятся углеводородные ресурсы, снижается экологическая нагрузка на окружающую среду.

В-третьих, высокоскоростные поезда обладают ярко выраженными потребительскими преимуществами: безопасностью, предсказуемостью, комфортом и доступностью. Уровень безопасности

высокоскоростных поездов беспрецедентно высок, ВСП безопаснее авиации и во много раз безопаснее автомобиля. Под предсказуемостью понимается точность хода и строгое соблюдение расписания, вызванные высокой степенью автоматизации и независимостью от погодных условий. Высокий уровень комфорта, по сравнению с другими видами транспорта, обусловлен большей вместимостью поезда и большим пространством, приходящимся на каждого пассажира. Доступность скоростного железнодорожного транспорта для населения является одним из главных конкурентных преимуществ ВСП и обусловлена низкой себестоимостью поездки в расчете на одного пассажира.

Научную литературу, так или иначе затрагивающую вопросы дизайна железнодорожного подвижного состава, можно условно разделить на три направления. Первое – это литература по истории и теории железнодорожной техники, второе направление научной литературы – труды дизайнеров, работавших над созданием железнодорожного подвижного состава, их практический опыт и профессиональный взгляд на проблему формообразования в дизайне поездов, третье – это литература по теории дизайна, в которой транспорт, в том числе железнодорожный, служит объектом искусствоведческого анализа.

Вопросы истории и теории железнодорожной техники рассматриваются в многочисленных железнодорожных энциклопедиях.

Принципы проектирования и формообразования высокоскоростного железнодорожного транспорта, выявление факторов, влияющих на формообразование ВСП, были исследованы Гамовым А.Е., Платоновым Г.А.

О своей работе над проектами подвижного состава писали в многочисленных изданиях такие дизайнеры, как автор германских скоростных поездов ICE Александр Ноймейстер и автор дизайн-программы «Железная дорога и пассажир» Роже Таллон.

Перспективные тенденции развития высокоскоростного транспорта были исследованы в проектной деятельности Жака Фреско.

## **1. Проектирование и формообразование высокоскоростного наземного транспорта**

В своём большинстве применяемые на ВСНТ технологии аналогичны стандартным технологиям

железнодорожного транспорта. Отличия же обусловлены, прежде всего, высокой скоростью движения, что влечёт за собой возрастание таких параметров, как центробежные силы. В целом повышение скорости движения поездов ограничивают следующие факторы:

- аэродинамика;
- механическое сопротивление пути;
- тяговые и тормозные мощности;
- динамическая устойчивость движения;
- надёжность токосъёма (для ЭПС).

Для улучшения аэродинамических показателей поезда имеют обтекаемую форму передней части и минимальное число выступающих частей, а выступающие (например, токоприёмники) оборудуются специальным обтекаемыми кожухами. Дополнительно подвагонное оборудование закрывается специальными щитами. За счёт применения таких конструктивных мероприятий снижается заодно и аэродинамический шум, то есть поезд становится менее шумным.

Механическое сопротивление в основном заключается во взаимодействии колесо-рельс, то есть для снижения сопротивления требуется снизить прогиб рельсов. Для этого усиливают железнодорожный путь, для чего применяются рельсы тяжёлых типов, железобетонные шпалы, щебёночный балласт. Также снижают нагрузки от колёс на рельсы, для чего в материалах кузовов вагонов применяют алюминиевые сплавы и пластик.

Для обеспечения высокой выходной мощности поезд должен иметь очень мощный первичный источник энергии. Этим и объясняется, что практически все высокоскоростные поезда (лишь за редким исключением) относятся к электроподвижному составу.

На формообразование ВСП оказывают воздействие следующие группы факторов: общие для проектирования транспорта и железнодорожного транспорта в отдельности, специфические для проектирования ВСП. Основным фактором, определяющим выбор дизайн-решения в формообразовании высокоскоростного поезда, является фактор функциональности, который можно разложить на четыре аспекта: экономический, технологический, социальный и эстетический. Эти факторы определяют специфические качества формообразования высокоскоростных поездов: модульность, динамичность, направляемость, а также качество системности.

Качество системности является основой методики комплексного формообразования в дизайне ВСП, в части выбора направления проектирования, предложения и анализа вариантов его реализации, проявится во взаимосвязи с другими компонентами проектирования – инфраструктура, путь, сервис и др.

Поезд на магнитной подушке или маглев, в отличие от традиционных поездов, в процессе движения не касается поверхности рельса. Так как между поездом и поверхностью полотна существует зазор, трение между ними исключается, и единственной тормозящей силой является аэродинамическое сопротивление (рис. 1).

Скорость, достигаемая поездом на магнитной подушке, сравнима со скоростью самолёта и позволяет составить конкуренцию воздушному транспорту на ближне- и среднемагистральных направлениях (до 1000 км). В настоящее время, маглев не может использовать существующую транспортную инфраструктуру, хотя есть проекты с расположением магнитных элементов между рельсами обычной железной дороги или под полотном автотрассы.



Рис. 1. Маглев Transrapid

Вакуумный поезд или Vactrain – предложенный примерно сто лет назад, но пока не реализованный высокоскоростной вид транспорта. Этот способ перемещения предполагает движение с помощью магнитной левитации внутри труб в вакууме или сильно разреженном воздухе. Отсутствие воздушного сопротивления и трения позволит двигаться с огромными скоростями (предположительно 6400–8000 км/ч – то есть в 5–6 раз быстрее звука в воздухе) и очень дешево.

Также может быть совмещён с гравитационным поездом.

Принцип вакуумного поезда был предложен профессором Борисом Вейнбергом в изданной им в

1914 году книге «Движение без трения». Принципиальное устройство изложено в книге «Занимательная физика» Я.И. Перельмана в главе «Электромагнитный транспорт».

Китай подготавливает к осуществлению проект рельсового поезда в подземном туннеле с пониженным давлением воздуха. Проект предполагается реализовать к 2020 году. Предположительно, поезд будет способен развивать скорость около 1000 км/ч. Стоимость одного километра такой подземной дороги оценивается в 2,9 миллиона долларов.

В железной дороге, которую предлагал устроить проф. Б. П. Вейнберг, вагоны будут совершенно невесома; их вес уничтожается электромагнитным притяжением. Вы не удивитесь поэтому, если узнаете, что согласно проекту вагоны не катятся по рельсам, не плавают на воде, даже не скользят в воздухе, — они летят без всякой опоры, не прикасаясь ни к чему, висят на невидимых нитях могучих магнитных сил. Они не испытывают ни малейшего трения и, следовательно, будучи раз приведены в движение, сохраняют по инерции свою скорость, не нуждаясь в работе локомотива.

Осуществляется это следующим образом. Вагоны движутся внутри медной трубы, из которой выкачан воздух, чтобы его сопротивление не мешало движению вагонов. Трение о дно уничтожается тем, что вагоны движутся, не касаясь стенок трубы, поддерживаемые в пустоте силою электромагнитов. С этой целью вдоль всего пути над трубой расставлены, на определенных расстояниях друг от друга, очень сильные электромагниты. Они притягивают к себе железные вагоны, движущиеся внутри трубы, и мешают им падать. Сила магнитов рассчитана так, что железный вагон, проносящийся в трубе, все время остается между ее «потолком» и «полом», не прикасаясь ни к тому, ни к другому. Электромагнит подтягивает проносящийся под ним вагон вверх, — но вагон не успевает удариться о потолок, так как его влечет сила тяжести; едва он готов коснуться пола, его поднимает притяжение следующего электромагнита. Так, подхватываемый все время электромагнитами, вагон мчится по волнистой линии без трения, без толчков, в пустоте, как планета в мировом пространстве.

Вагоны представляют собой сигарообразные цилиндры высотой 90 см, длиной около 2,5 м.

Конечно, вагон герметически закрыт, — ведь он движется в безвоздушном пространстве, — и подобно

подводным лодкам снабжен аппаратами для автоматической очистки воздуха.

В 1910-е годы в США пионер космонавтики Роберт Годдард, будучи студентом, разработал детальные прототипы поезда, преодолевающего расстояние от Нью-Йорка до Бостона за 12 минут со средней скоростью 1000 миль в час (1600 км/ч). Эти работы были найдены только после его смерти в 1945 году.

### *Проект «ЕТЗ»*



Рис. 2. Мировая сеть

По замыслу Дэрила Остера, трубопроводы ЕТЗ должны связать Америку с Азией через Берингов пролив и далее тянуться в Японию по Курильской гряде, в Австралию, в Африку, в Европу через Урал, а оттуда снова на Американский континент через северные моря, Исландию и Гренландию. Но это в отдаленной перспективе. Пока же предполагается, что к 2013 году будет сооружена миниатюрная модель вакуумного поезда, а в 2020 году появится первая экспериментальная линия ЕТЗ, капсулы которой смогут развивать скорость от 500 до 1000 км/ч (рис. 2).

### *Проект «Swissmetro»*

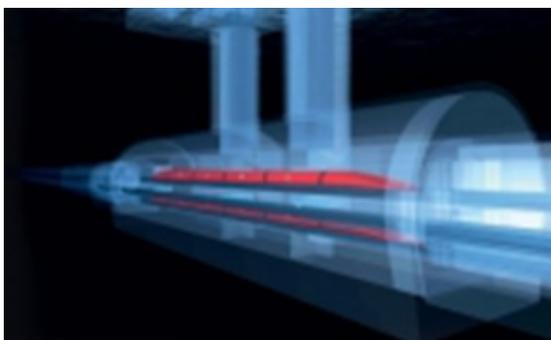


Рис. 3. Swissmetro

Громкий проект Swissmetro, схожий с ЕТЗ, еще с 1974 года разрабатывался в Швейцарии. Развивающийся скорость до 500 км/ч подземный вакуумный поезд на магнитной подушке должен был курсировать между главными городами страны: Женевой, Лозанной, Базелем, Берном и Цюрихом. К сожалению, проект так и не дошел до стадии воплощения в металле; на сегодняшний день от него остались только надеющиеся на лучшие времена акционеры

Итак, в основе концепции вакуумного поезда лежит уже давно ставший реальностью поезд на магнитной подушке. Между тем бурного развития левитирующего транспорта, с которым 30 лет назад связывались большие надежды, пока что не заметно. Несколько построенных в 1980-е годы линий уже закрыты, на сегодняшний день эксплуатируются лишь 30-ти километровая трасса в Эмсланде (Германия), такой же длины дорога в Шанхае и 9-километровый участок в Нагое (Япония).

Теоретически маглев может развивать скорость, вполне сопоставимую со скоростью самолета, при впятеро меньших затратах энергии. Но скорость становится весомым достоинством только на больших дистанциях: на 30-километровой трассе способность разогнаться до 500 км/ч практически бесполезна.

Опять же: теоретически маглев втрое экономичнее автомобиля (хотя и уступает обычному поезду), но только при перевозке ограниченного числа пассажиров, так чтобы их масса была невелика по отношению к массе поезда. Если же состав нагрузить, преимущество исчезнет. Для перевозки товаров транспорт на магнитной подушке непригоден.

Обычные скоростные электропоезда, почти столь же быстрые и значительно более экономичные, при этом не требующие прокладок специальных, оригинальной конструкции путей, на данный момент выигрывают в конкурентной борьбе с маглевами. Изменит ли ситуацию освобожденная от воздуха труба? Главный недостаток поезда на магнитной подушке – дороговизна строительства дорог, а также их непригодность для тяжелых грузоперевозок и движения других видов транспорта – только усугубится. К тому же непонятно, например, каким образом конструкторы ЕТЗ намереваются пропустить через 150-сантиметровое «игольное ушко» все возрастающие межконтинентальные пассажиропотоки. Малая вместимость капсул и необходимость их шлюзования перед подачей в вакуумированный канал снижают пропускную способность транспортной

системы, делая ее непригодной даже для обслуживания крупного аэропорта.

Недостаточно проработаны и вопросы обеспечения безопасности вакуумного поезда. Конструкторы FTS предлагают оборудовать капсулы ремнями и подушками безопасности (на случай схода тележки с рельсов), а также кислородной маской (на случай разгерметизации). К сожалению, после срабатывания подушки воспользоваться маской невозможно. Но – авторы это признают, – если катастрофа произойдет на скорости 400 км/ч, отсутствие воздуха в тоннеле пассажира беспокоить уже не будет.

Стоит заметить, что конструкция самых современных авиалайнеров включает довольно сомнительные средства спасения пассажиров в случае катастрофы. Тем не менее, большинство людей спокойно относятся к полетам. Низкая вероятность отказов в магнитно-вакуумных транспортных системах сделает сверхскоростные поезда достаточно безопасными.

Реализация смелого замысла Дэрила Остера требует огромных затрат. Предстоит решить бесчисленные технические проблемы. Но уже сейчас видно, что сложности преодолимы. Пассажирские поезда, в два-три раза более скоростные, чем сверхзвуковые авиалайнеры, колоссальные межконтинентальные «грузопроводы», подвешенные в толще океанских вод, даже индивидуальные «линии доставки», по которым товары отправляются покупателям на дом, – все это вполне может появиться. Если не к концу нынешнего столетия, то в начале следующего века капсулы, скользящие в пустоте на магнитной подушке, заменят и вытеснят прочие виды транспорта, исключая личные автомобили и круизные лайнеры. По крайней мере мы можем в это поверить.

## 2. Перспективные тенденции развития ВСНТ

Сегодня высокоскоростной железнодорожный транспорт представляет собой систему, включающую как комплекс технических компонентов (инфраструктуры, подвижного состава и т. д.), так и обязательный набор организационных решений по финансированию, экономическим, коммерческим, организационным, социальным аспектам этого вида транспорта, по учету природных и человеческого фактора.

Все большее признание получают и распространение безбалластные конструкции пути. Европейская система управления движением поездов (ERTMS), теперь уже не только первого, но и второго, третьего

уровня, вводится в регулярную эксплуатацию на ВСМ разных стран.

В области высокоскоростного подвижного состава имеют место начало коммерческой эксплуатации поездов нового поколения AGV компании Alstom на итальянских высокоскоростных магистралях и создание парных поездов серий E5 и E6 в Японии.

Принцип работы подобных высокоскоростных магнитных поездов по проектам Жака Фреско позволяет отсоединять отдельные сегменты с пассажирскими купе в момент прохода поезда через станцию. Такие сменные секции смогут доставлять пассажиров к конечной точке их пути в то время, как новые секции будут установлены взамен отсоединённых (рис. 4). Этот процесс позволит основной части поезда постоянно находиться в движении для того, чтобы не приходилось лишиться энергии. Кроме того, сменные многофункциональные секции смогут быть специализированы для решения любой транспортной задачи.

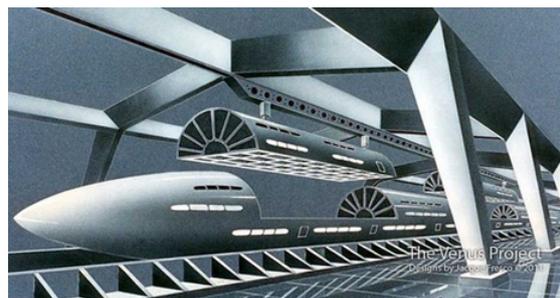


Рис. 4. Поезд на магнитном подвесе по проекту Жака Фреско

Тенденции развития технологии магнитного подвеса также могут быть использованы в автотранспорте.

Автомобили с обтекаемой геометрией обеспечивают высокоскоростные и безопасные поездки на большие расстояния при низком энергопотреблении. Часть машин оборудованы магнитной подвеской или воздушной подушкой. Большинство транспортных средств оборудовано технологией распознавания речи, которая позволит пассажирам задать пункт назначения голосовой командой. Система самоконтроля сможет оповестить автомобиль, когда ему потребуется ремонт, а он в свою очередь будет способен самостоятельно переместиться к ближайшему пункту техобслуживания.

Использование чистой, не загрязняющей окружающей среду электроэнергии, позволяет транс-

портному средству работать практически беззвучно. А датчики сближения, связанные с автоматизированной системой управления скоростью и торможением, увеличивают безопасность, позволяя автомобилям избегать столкновений. Как вторичная мера безопасности, салоны автомобилей будут оборудованы эргономичной системой воздушных подушек безопасности.

В пределах городов горизонтальные, вертикальные, звездообразные и круговые конвейеры удовлетворяют большинство транспортных нужд.

Подобный проект был введен в эксплуатацию в 2010-ом году и известен как персональный автоматический транспорт.



**Рис. 5.** Персональный автоматический транспорт (PRT) ULTra английской компании Advanced Transport Systems Ltd.

В настоящий момент в мире действует одна транспортная система PRT. Это сеть ULTra в Лондонском аэропорту Хитроу (рис. 5). Существует также система Morgantown Personal Rapid Transit, отличающаяся от классической концепции PRT увеличенным размером вагона.

## Выводы

В целом повышение скорости движения поездов ограничивают аэродинамика; механическое сопротивление пути; тяговые и тормозные мощности; динамическая устойчивость движения; надёжность токосъёма (для ЭПС).

Основным фактором, определяющим выбор дизайн – решения в формообразовании высокоскоростного поезда, является фактор функциональности, который можно разложить на четыре аспекта: экономический, технологический, социальный и эстетиче-

ский. Эти факторы определяют специфические качества формообразования высокоскоростных поездов: модульность, динамичность, направляемость, а также качество системности.

Перспективные направления развития ВСТ представлены в проектировании вакуумных поездов, а также в разработках инженера и промышленного дизайнера Жака Фреско. Наблюдается тенденция введения технологий, используемых для работы ВСНТ, при проектировании других видов транспорта, в том числе автотранспорта, а также введение альтернативных источников энергии.

## Литература

- Большая энциклопедия транспорта. Т. 4. Железнодорожный транспорт* / Под ред. А.А.Зайцева, В.Е.Павлова. – СПб.: Элмор, 1994. – 328.
- Вейнберг Б.П. 1914. *Движение без трения (безвоздушный электрический путь)*. СПб.: Естествоиспытатель.
- Гамов А.Е. 2005. *Проектные принципы формообразования в дизайне высокоскоростных поездов: автореф. дис. канд. искусствоведения: 17.00.06./ Гамов А.Е.* – СПб.
- Платонов Г.А. 1986. *Эргономика на железнодорожном транспорте*. М.: Транспорт. 295 с.
- Loewy R. 2000. *Industrial Design*. London: Laurence King.
- Loewy R. 1937. *Locomotive: It's Esthetics*. London & N.Y.
- The Venus Project* (Проект Венера): [Электронный ресурс] // Официальный сайт. 2008–2012. URL: <<http://www.thevenusproject.com/ru/technology/transportation>> (Дата обращения: 13. 02.2012).