

Концепция создания скоростного туннельного аэропоезда на воздушной подушке

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Проведен анализ скоростных бесконтактных видов транспорта, использующих две перспективные концепции – магнитную и воздушную подвеску. Рассмотрены особенности трубопроводного транспорта вообще и конкретной скоростной всепогодной транспортной системы на воздушной подушке. Приведены предпосылки создания аэропоездов на воздушной подушке, движущихся в трубопроводе со скоростями, соизмеримыми с самолетными. Проанализированы пассажирские и грузовые варианты.

Ключевые слова: концепция аэропоезда, скоростной наземный транспорт, воздушная подушка, туннельный трубопровод, пассажиры, грузы.

Краткие сведения о скоростном бесконтактном транспорте

Существенное увеличение скорости движения современного железнодорожного транспорта является одной из приоритетных задач. Скорость такого транспорта имеет верхний предел. Он обусловлен потерей сцепления колес, динамической неустойчивостью и большими затратами на техническое обслуживание скоростного рельсового пути. Очевидное решение заключается в том, чтобы избавиться от колес, т. е. исключить их контакт с рельсами.

Поэтому инженеры уже почти столетие предпринимают попытку создать скоростной бесконтактный транспорт, движущийся (парящий) в нескольких сантиметрах над специальным дорожным полотном. В настоящее время в области разработки проектов парящих поездов сложились две конкурирующие друг с другом концепции, каждая из которых достаточно привлекательна. Это проекты поездов с магнитной подвеской (MAGLEV) и поездов на воздушной подушке (TACV). Считается, что ни одна из систем не доказала своего преимущества перед другой.

Для реализации принципа магнитной подвески в системе MAGLEV размещают охлажденные до криогенных температур (ниже -263 °С) электромагниты, а на направляющем полотне помещают лист из хорошо проводящего электричество материала, например алюминия. В этом случае используют принцип отталкивания магнитов.

Преградой для развития такого почти идеального транспорта является создание технически сложных супермагнитов, их охлаждение, защита пассажиров от сильного магнитного поля и, в конечном счете, большая стоимость как самого транспортного средства, так и его направляющей трассы.

Однако открытие материалов с высокотемпературной сверхпроводимостью удешевляет цифровые технологии для систем управления и силовой полупроводниковой электроники – весь этот комплекс технологий возрождает интерес к транспорту MAGLEV.

В транспортной системе с воздушной подушкой аэропоезда осуществляют бесконтактное движение, используя статическую и динамическую воздушную подушку (ВП). Направляющее полотно для движения аэропоезда может иметь V-образное, П-образное, Т-образное или другое сечение. Опоры скольжения с баллонным ограждением обеспечивают подъем вагона, плавную подвеску и бесконтактное скольжение на воздушной подушке. В качестве движителя используют

воздушные винты или реактивную тягу. Но более перспективными считаются линейные асинхронные двигатели, представляющие собой развертку обычных роторных асинхронных двигателей переменного тока. Такие движители являются бесшумными и экологически чистыми. Аэропоезда на ВП не подвергают направляющее полотно нагрузкам и вибрациям, которые характерны для обычного колесно-рельсового транспорта. Но главное - они могут достигать больших скоростей движения, соизмеримых с самолетными.

Использование для высокоскоростного движения аппаратов на ВП позволяет существенно снизить требования к качеству полотна и точности укладки пути, при этом устраняется износ его опорных поверхностей и существенно снижаются расходы на эксплуатацию и обслуживание. Замена железнодорожных рельсов полотном специального профиля, выполненным из железобетона, обеспечивает значительное сокращение затрат на сооружение путепровода.

Существует большое количество проектов скоростных транспортных средств на воздушной подушке (ТСВП), предназначенных для движения над специальным направляющим полотном. В США, Англии, Франции (рис. 1), ФРГ, Японии и Китае построены опытные образцы поездов на ВП, достигающие скоростей движения более 400 км/ч.

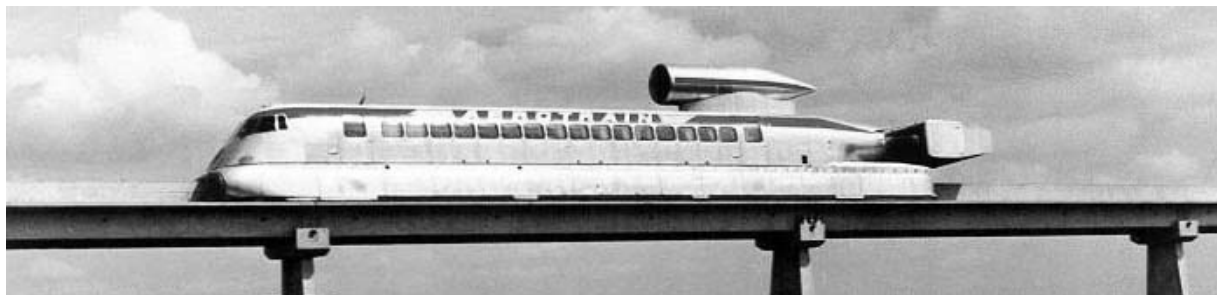


Рис. 1. Опытный образец поезда на ВП «Аэротрейн-1-80HV», Франция

Трубопроводные ТСВП

Рассмотрим разновидности бесконтактного транспорта, а именно те транспортные средства, которые движутся внутри трубы или путепровода.

В последние годы предпринимаются попытки приспособить трубы и путепроводы для пассажирских и грузовых скоростных перевозок. Движению в закрытых трубах и путепроводах совершенно не препятствуют неблагоприятные метеосреды внешней среды. Повышается безопасность движения также и потому, что никакие посторонние предметы не смогут попасть в туннельные трубопроводы. Все это несомненные преимущества подобного транспорта.

Существуют различные подходы к разработке трубопроводных ТСВП. Используют пневматические и непневматические системы. В первом случае транспортное средство движется с помощью нагнетаемого воздушного потока. Во втором случае транспортное средство изготавливают самоходным и трубопровод выполняет только функцию путепровода.

В ряде стран проводят исследования высокоскоростного трубопроводного транспорта для перевозки грузов и пассажиров [1, 2, 3]. В качестве примера приведем предложение Илона Маска (Elon Musk, USA), изобретателя и предпринимателя, основателя и руководителя компании-разработчика серии ракет-носителей

Space X.

Чтобы уменьшить сопротивление воздуха движению, он предлагает скоростные вакуумные поезда (капсулы), движущиеся внутри трубы, из которой выкачивается воздух и поддерживается низкое давление [4] (рис. 2). Теоретически возможно достижение очень больших скоростей движения (приводится цифра $V = 950$ км/ч).

Однако, такие системы на практике могут потребовать достаточно больших энергетических затрат. Имеется опасность разгерметизации. Кроме того, они ограничены диаметрами порядка 2...3 м и, следовательно, малой грузонесущей способностью.

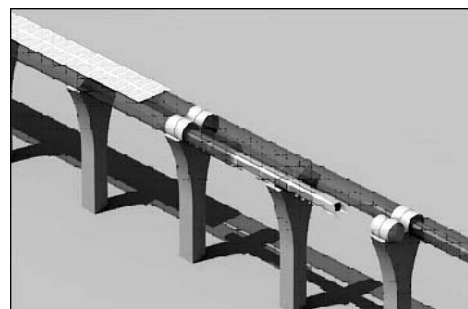


Рис. 2. Проект вакуумного трубопроводного транспорта

Формирование концепции аэропоезда на ВП и транспортной системы

Развивая зарубежные исследования, авторы предлагают свою концепцию создания аэропоезда на ВП туннельного типа.

Транспортная система (рис. 3) включает в себя аэропоезд на ВП 1 и направляющую эстакаду 2, которая сверху закрыта арочным укрытием 3. Аэропоезд содержит колесное шасси 4 и четыре опоры скольжения на ВП 5, которые выполнены с баллонным ограждением открытого типа 6, конструкция и принцип работы которых освещены в работе [5]. Благодаря наклонному расположению они выполняют одновременно функции подъемных и направляющих элементов. Опоры 5 воспринимают все силы и моменты, действующие на транспортное средство.

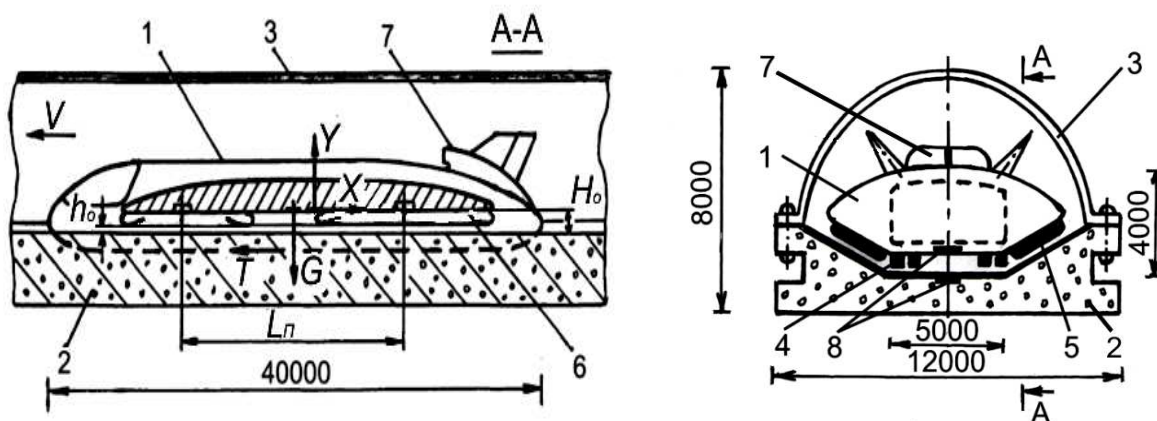


Рис. 3. Схема скоростного аэропоезда на ВП туннельного типа

Относительные величины всех сил X ; Y ; Z по соответствующим осям и их моментов $M_{X,Y,Z}$ оцениваются следующими коэффициентами:

- коэффициент лобового сопротивления
$$C_x = \frac{X}{qS_x};$$

- коэффициент подъемной силы	$C_Y = \frac{Y}{qS_Y};$
- коэффициент боковой силы	$C_Z = \frac{Z}{qS_Z};$
- коэффициент продольного момента	$C_{M_Z} = \frac{M_Z}{qS_Z L_{II}};$
- коэффициент поперечного момента.....	$C_{M_X} = \frac{M_X}{qS_X B_{II}};$
- коэффициент момента рыскания.....	$C_{M_Y} = \frac{M_Y}{qS_Y L_{II}}.$

Здесь $S_X = S_{\text{мид}}$ – площадь поперечного сечения аппарата (площадь миделя); $S_Y = S_{II}$ – площадь ВП; S_Z – площадь продольного сечения аппарата; L_{II} – расстояние между передними и задними ВП; B_{II} – расстояние между левыми и правыми ВП; $q = \frac{\rho V^2}{2}$ – скоростной напор встречного потока; V – скорость движения аппарата; ρ – плотность воздуха.

Центр масс аппарата G выбирают таким образом, что момент от силы тяги T компенсируется моментом от суммарной подъемной силы Y от ВП. С этой целью площадь задних ВП принимают больше передних.

Пневмопитание ВП обеспечивается двумя нагнетательными установками (на схеме не показаны), которые могут быть выполнены либо в виде центробежных вентиляторов с приводом от ДВС, либо в виде турбоагрегатов с эжекторами. Нагнетательные установки расположены в кормовой части аппарата. Там же расположены их заборники воздуха 7. Каждая нагнетательная установка обслуживает две из четырех опор скольжения 5.

Движение происходит над относительно гладкой поверхностью, поэтому воздушный зазор истечения из ВП h_0 может составлять порядка 3 мм. Такие режимы движения могут быть обеспечены только при условии, что бетонная эстакада в зоне действия ВП будет покрыта специальными пленочными или листовыми элементами. С помощью гибкого ограждения ВП корпус аппарата поднимается на высоту H_0 .

В качестве движителей аэропоезда могут быть использованы винтовентиляторные установки или реактивные двигатели. Однако более перспективным считается использование линейных асинхронных электродвигателей, которые представляют собой развертку статора (первичная обмотка) и ротора (вторичная обмотка) стандартного роторного электродвигателя. Обычно первичную обмотку располагают в путепроводе (эстакаде), а вторичную - в транспортном средстве (см. рис. 3, поз. 8). Скорость движения регулируют путем изменения час-

тоты питающего тока. Такой привод отличается бесшумностью и экологичностью. Однако капитальные затраты на строительство путепровода увеличиваются.

Максимальная скорость движения может достигать значения $V = 700$ км/ч. Движение аэропоезда на ВП происходит в ограниченном пространстве, что сказывается на его аэродинамическом сопротивлении. Поэтому сопротивление движению следует уточнять с помощью экспериментальных продувок в аэродинамической трубе.

При таких скоростях движения скоростной напор встречного потока $q = \frac{\rho V^2}{2}$ может быть меньше или больше статического давления в воздушной подушке ΔP_{II} . Во втором случае наступает так называемый экраный режим движения.

В подушечном режиме движения $q \leq \Delta P_{II}$ встречный поток целесообразно направлять на вход в нагнетатели с помощью заборников 7. Тем самым энергетические затраты нагнетателей на создание ВП с увеличением скорости будут уменьшаться. Следовательно, энергетические затраты будут максимальными в режиме парения (без движения), когда $V = 0$.

Основным сопротивлением при движении аэропоезда 1 будет сопротивление воздуха. В целях его уменьшения арочный путепровод 3 специально выполнен с большим поперечным сечением, а корпус аэропоезда 1 – в виде несущей поверхности. Поэтому несущие свойства формируются как под нижней, так и над верхней поверхностью аппарата.

Конструктивно аэропоезд 1 выполнен таким образом, что при необходимости возможен переход к экранному режиму движения. В этом случае элементы динамической воздушной подушки будут иметь высокое аэродинамическое качество $k = \frac{Y}{X}$.

По предварительным расчетам, для элементов динамической ВП $k \approx 60$, а для аппарата в целом $k \approx 35$, т. е. k аэропоезда на ВП значительно превышает самолетное.

Эстакаду 2 и арочное укрытие 3 транспортной системы выполняют в виде отдельных блоков, которые соединяют между собой и закрепляют на поверхности земли. Арочное укрытие 3 может быть изготовлено из прозрачного материала, а конструктивно изготовлено в виде легкоъемной или откидной конструкции. Движению в закрытом путепроводе не могут препятствовать неблагоприятные метеосреды.

Для слежения за перемещением аэропоезда и определения его скорости на путепроводе 3 необходимо устанавливать магнитоуправляемые датчики. При взаимодействии с постоянным магнитом, установленным на аэропоезде, датчик выдает необходимый сигнал, который обрабатывается на диспетчерском пульте.

Приведем пример расчета технических параметров аэропоезда на ВП (рис. 3):

- масса аппарата, т.....	120
- масса полезной нагрузки, т.....	50
- давление нагнетательной установки, кПа.....	25
- давление воздушной подушки, кПа.....	15
- расход воздуха через ВП, м ³ /с.....	8,0
- мощность привода нагнетателей, кВт.....	2×150

- высота подъема корпуса ВП, м 0,25
- скорость движения, км/ч..... 600
- тяга двигателей, кН..... 160

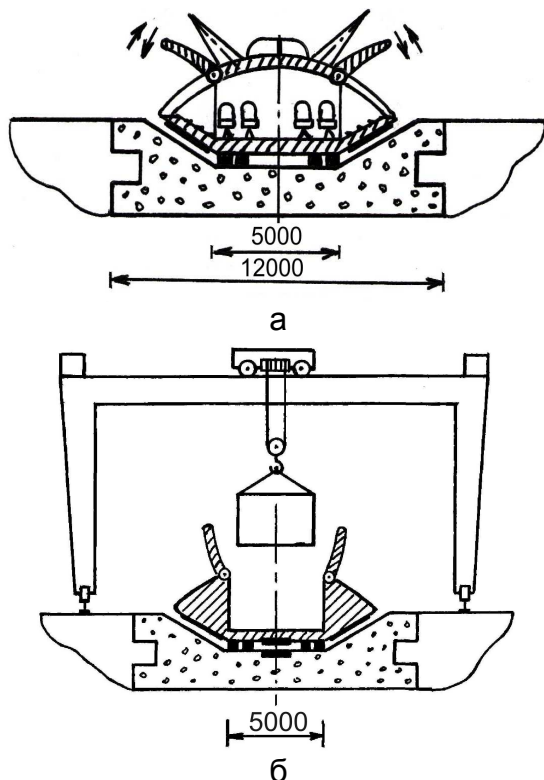


Рис. 4. Схемы пассажирского (а) и грузового (б) аэропоезда на ВП

Предлагаемый аэропоезд на ВП конструктивно может быть выполнен в пассажирском или грузовом вариантах (рис. 4).

Общее расстояние транспортного маршрута может состоять из одного или нескольких межстаночных дистанций. Межстаночный участок трассы в идеале должен приближаться к прямолинейному, а повороты трассы следует выполнять в пунктах остановок. Преодоление криволинейной трассы на межстаночных участках может достигаться путем уменьшения скорости, перехода к колесному режиму движения и применения наклона направляющей эстакады.

Предусмотрено двухколейное движение в разных туннелях, а в путепроводах – системы вентиляции.

В пунктах посадки пассажиров и загрузки грузов арочные укрытия отсутствуют, а аэропоезд перемещается в колесном режиме.

Заключение

Скоростной всепогодный транспорт найдет применение на трассах с большими расстояниями и грузопассажирскими потоками.

Применение аэропоездов целесообразно использовать для перевозки пассажиров со скоростью до $V = 700$ км/ч на расстояния до 2000 км при пассажиропотоках 3 – 7 млн человек в год. При таких грузопассажирских потоках высокие капитальные затраты на строительство путепровода могут достаточно быстро окупиться. Ориентировочная стоимость 1 км путепровода может составить \$11 млн. Для сравнения стоимость постройки обычной скоростной железнодорожной трассы составляет за 1 км пути порядка \$30 млн.

Достоинства предлагаемого транспорта:

- достижение больших наземных скоростей, соизмеримых с самолетными;
- независимость работы от метеословий и круглогодичная непрерывная эксплуатация;
- устойчивые режимы работы ВП в широком диапазоне нагрузок и скоростей;
- малые удельные энергетические показатели (~ 2 кВт на 1 т груза);
- значительное упрощение и удешевление конструкции транспортного средства и путепровода;
- достижение больших значений аэродинамического качества.

Список литературы

1. Edwards, A. Transporte de residues pour tuberia [Text] / A. Edwards // Tech. мес., 1976, Vol. 18, N 24. — 42 p.
2. Foa, J. V. Flight in a tube [Text] / J. V. Foa // High Speed Ground Transportation Journal, 1977, Vol. 1, N 1. — P. 80 – 91.
3. Carstens, M. R. Pipelines for people may solve mass transit problems [Text] / M. R. Carstens // Pipe Line News, 1970, Vol. 32, N 2. — P. 10 – 15.
4. Elon Musk's Hyperloop Will Work, Says Some Very Smart Software [электронный ресурс]. Режим доступа к ресурсу: <http://www.businessweek.com/articles/2013-09-18/elon-musks-hyperloop-will-work-says-some-very-smart-software>.
5. Оборудование и транспорт на воздушной подушке с баллонным ограждением [Текст] В. П. Люшнин, В. Е. Гайдачук, Л. А. Мальков. — Х. : ФЛП Лысенко И. Б., 2012. — 231 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Тараненко М. Е., Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”, г. Харьков, Украина

Поступила в редакцию 26.05.2014

Концепція створення швидкісного тунельного аеропотягу на повітряній подушці

Виконано аналіз швидкісних безконтактних видів транспорту, що мають дві перспективні концепції – магнітну та повітряну підвіску. Розглянуто особливості трубопровідного транспорту взагалі та конкретної швидкісної всепогодної транспортної системи на повітряній подушці. Наведено передумови створення аеропотягів на повітряній подушці, які рухаються у шляхопроводі зі швидкостями, що наближаються до літакових. Проаналізовано пасажирські та вантажні варіанти.

Ключові слова: концепція аеропотягу, швидкісний наземний транспорт, повітряна подушка, тунельний трубопровід, пасажери, вантажі.

The concept of creation of the high-speed aero train on the aircushion of tunnel type

The analysis of the high-speed contactless means of transport using two perspective concepts – a magnetic and air suspension bracket is carried out. Features of pipeline transport in general and concrete high-speed all-weather transport system on the principle of the aircushion are considered. Preconditions about creation of aero trains on the aircushion, moving in an overpass with speeds, commensurable with plane, are provided. Passenger and cargo options of execution are considered.

Keywords: concept of the aero train, high-speed land transport, aircushion, tunnel overpass, passengers, freights.