

Будущее-2020 • Труды конференции



Ю.А. Терентьев, Г.Г. Малинецкий, М.А. Сысоев, П.С. Бражник, Т.С. Зименкова, В.В. Строганов, А.В. Камынин

Вакуумный транспорт: перспективы XXI века

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Терентьев Ю.А. Малинецкий Г.Г. Сысоев М.А. Бражник П.С. Зименкова Т.С. Строганов В.В. Камынин А.В. Вакуумный транспорт: перспективы XXI века // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 3-й Международной конференции (6-7 февраля 2020 г., Москва). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2020. — С. 149-164. — https://keldysh.ru/future/2020/13.pdf https://doi.org/10.20948/future-2020-13

Размещено также видео выступления

Вакуумный транспорт: перспективы XXI века

Ю.А. Терентьев¹, Г.Г. Малинецкий², М.А. Сысоев³, П.С.Бражник⁴, Т.С. Зименкова⁵, В.В. Строганов⁶, А.В. Камынин⁷

¹ Независимый эксперт, ² ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, ³ МГТУ им. Н.Э. Баумана, ⁴ НИЦ Курчатовский институт, ⁵ Петербургский государственный университет путей сообщения, ⁶ STR MOTION, ⁷ AO «Спецмагнит»

Аннотация. Цифровые технологии позволяют создать транспортные средства, обладающие огромными возможностями. Одним из них является вакуумный магнитно-левитационный транспорт (ВМЛТ). Этот транспорт позволяет перевозить грузы со скоростью свыше 6000 км/ч, обладает очень малой энергоемкостью и относительно дешевой инфраструктурой. Замечательной особенностью ВМЛТ является то, что все его элементы уже практически реализованы и речь должна идти об оптимизации технических решений и о разворачивании таких систем в больших масштабах. В статье рассматривается ряд теоретических и экспериментальных результатов, полученных авторами и приближающих ВМЛТ к практической реализации.

Ключевые транспорт, сверхпроводимость, слова: вакуумный экономический эффект, экспериментальная обработка, магнитная левитация, расчеты оптимальных магнитных структур, цифровая реальность, компьютерное управление техническими системами

Vacuum transport: Prospects for the 21st century

Yu.A. Terentyev¹, G.G. Malinetskiy², M.A. Sysoev³, P.A. Brazhnik⁴, T.S. Zimenkova⁵, V.V. Stroganov⁶, A.V. Kamynin⁷

¹ Independent expert, ² RAS Keldysh Institute of Applied Mathematics, ³ Bauman Moscow State Technical University, ⁴ NRC "Kurchatov Institute", ⁵ St. Petersburg State Transport University, ⁶ STR MOTION, ⁷ JSC "S-magnet"

Abstract. Digital technology allows you to create vehicles with great potential. One of them is vacuum magnetic levitation transport (VMLT). This transport allows you to transport goods at speeds of over 6000 km/h, has a very low energy intensity and relatively cheap infrastructure. A remarkable feature of VMLT is that all its elements have already been practically implemented, and we should talk about optimizing technical solutions and deploying such

systems on a large scale. We consider a number of theoretical and experimental results obtained by the authors and bringing VMLT closer to practical implementation.

Keywords: vacuum transport, superconductivity, economic effect, experimental processing, magnetic levitation, calculations of optimal magnetic structures, digital reality, computer control of technical systems

В всё более последнее время становится очевидным, что объективный переход человеческого общества к новым технологическим требует максимального увеличения скорости коммуникаций. И если В области цифровых И информационных технологий технический прогресс уже привёл к возможности практически мгновенной, сопоставимой со скоростью света, передачи информации при минимальных затратах энергии, то в области транспортной логистики максимальные достигнутые сравнительные скорости транспортных средств (ТС) по-прежнему являются несопоставимо низкими [9-13].

Необходимо добиться оптимального сочетания, как минимум трёх основных параметров транспортного процесса: его скорости, производительности и высокой энергетической эффективности.

Сейчас активно формируется экономика высоких скоростей, крайне необходимых для современных торгово-транспортных коммуникаций [1,6-8]. Реализация любого транспортного проекта всегда тесно связана и взаимно обусловлена развитием энергетического проекта [5].

«Мы живем в эру потрясений и решительных изменений в энергетических и материальных основах экономики. Эра дешевой энергии подходит к концу», — считают авторы исследования [3]. Некоторые надеются, что новые технологии — искусственный интеллект, интернет вещей, блокчейн — освободят рабочих и минимизируют стоимость производства.

Но авторы доклада считают такие сценарии утопичными и указывают, что достижение нынешнего или более высокого уровня энергообеспеченности экономики в ближайшие десятилетия будет крайне сложно, если не невозможно [3]. Следует признать, пишут исследователи, что мы не сможем поддерживать нынешний уровень экономического роста, и придется предпринимать меры по снижению энергозатрат — в транспорте, пищевой промышленности, строительстве. Объем воздушных и морских грузоперевозок тоже нужно будет сократить, а планирование должно приспособиться к нуждам пешеходов и велосипедистов, придется больше использовать общественный и электрифицированный транспорт и т.д.

С учетом ввода к 2020 г. в России дополнительных энергетических мощностей в объеме 165 ГВт, транспорт России будет потреблять при

инновационном сценарии развития 54 ГВт мощности (а это больше всей ныне установленной мощности всех ГЭС России) [5].

В настоящей статье дается описание динамики развития одного из альтернативных решений — *интегральной транзитной транспортной системы* (ИТТС) на основе отечественных, предложенных ещё в начале XX в. профессором Б.П. Вайнбергом [22] и развитых в дальнейшем его последователями [23,9-13,31–32] технологий вакуумного магнитнолевитационного транспорта (ВМЛТ).

Для выбора оптимального состава системы и определения места и границ собственной ниши для конкретных видов транспорта, необходимо провести их оценку [2,9–13].

В настоящее время сравнение объёмов проделанной транспортной системой полезной работы за сопоставимый период времени, обычно выражается в тонно-километрах (\mathbf{T} -км) перемещённых за этот период грузов.

Однако, на наш взгляд, здесь теряется вклад влияния скорости или времени доставки единицы массы перемещаемого материального объекта из начальной точки в конечную.

Возможно, проводя анализ и сравнение различных СТ, более объективные и наглядные результаты можно будет получать на основе использования предложенной П.Г. Кузнецовым и развитой в дальнейшем его коллегами и учениками [5,9] системы некоторых натуральных показателей, в терминах и определениях так называемой «физической экономики».

Для более корректного описания транспортных процессов, перемещение и общих энергии на изменение удельных затрат соответствующее изменению скорости, материальных объектов, необходимо, по аналогии с [5], учитывать, например, использованием дополнительного сомножителя вида $(v/v_n)^2$, т.е. путём умножения соответствующего параметра в т км на квадрат отношения скорости данного ТС к некой условной, соответствующей текущему уровню развития СТ, «нормировочной» скорости $v_{\rm n}$, которую мы предлагаем сейчас принять равной 100 м/с.

Подобную сопоставимую единицу транспортной работы можно было бы назвать «RTU, — (Russian Transport Unit)», или «российской транспортной единицей» и определять таким образом, более корректно, полезный интегральный эффект транспортной работы.

Анализируя затраченную на этот процесс полную энергию, уже можно делать некоторые необходимые оценки, например, в единицах Дж/т·км удельного расхода энергии, или «У.р.э.» [5,9].

Такие предварительные оценки уже были проделаны ранее [5,9-11] и показали, что наилучшие параметры энергетической эффективности (но не всегда с сопоставимой скоростью перевозок) имеет, по данному критерию,

железнодорожный транспорт классического типа, однако и он уступает вакуумному транспорту по эффективности почти на порядок.

В «большой энергетике» принято для оценок энергетической эффективности различных процессов использовать универсальный искусственный параметр сравнения энергетических характеристик, «калорийности», различных видов топлива, т.наз. «единицу условного топлива» или, чаще всего, это «тонна условного топлива» (т.у.т.), равная по своей энергетической ценности 1 т угля.

В России за единицу условного топлива (у.т.) принимается теплотворная способность 1 кг каменного угля, численно равная 29,3 МДж или 7000 ккал, соответственно, 1 тут = 29,3 ГДж или 7000 Мкал.

Следующим приближением будет использование также предложенной ранее [5], но несколько модифицированной единицы «тран», которая и учитывает сравнительное влияние скорости транспорта путем умножения соответствующего параметра на квадрат отношения скорости к некой условной, которую мы предлагаем сейчас принять равной 100 м/с. Тогда наша таблица станет ещё более наглядной и корректно представляющей результаты сравнения ТС. по необходимым нам параметрам.

Таблица 1. Совокупные показатели удельных энергозатрат и времени доставки для различных СТ и способов перевозки грузов

Nº	Тип транзита	У.р.э., кДж / т·км	L, тыс. км	Р, кДж/т	Время доставки груза, сутки
1	Железнодорожный (Российский транзит) (Китай – Финляндия)	110	10	$1,1\cdot 10^6$	12(7)
2	Морской (Китай – Финляндия)	54,3	21	$1,14\cdot 10^6$	28
3	Железнодорожный (Российский транзит) (Южн. Корея – Зап. Европа)	110	11	$1,2\cdot 10^6$	14
4	Морской (Южн. Корея – Зап. Европа)	54,3	22	$1,2\cdot 10^6$	30
5	Железнодорожный (Российский транзит) (Китай – Зап. Европа)	110	11	$1,21\cdot 10^6$	15
6	Морской (Китай – Зап. Европа)	54,3	23	$1,25\cdot 10^6$	27–46
7	(Российский транзит) (Китай – Зап. Европа) ТС ВМЛТ	14,05	11	1,54·10 ⁵	0,1

И здесь совершенно очевидно преимущество ВМЛТ по всем сравниваемым параметрам, причём, по основному, целевому параметру, – P – совокупным энергозатратам, т.е. почти в 10 раз лучше.

Так, из нашего сравнения совершенно очевидно, что в качестве магистрального ТС, с протяжённостью трассы, кратной, например, 1000 км необходимо и выгодно использование именно сверхвысокоскоростной системы ВМЛТ, которая одновременно сочетает в себе преимущества сверхвысокой скорости перемещения грузов или весьма высокой энергоэффективности с рекордно быстрой транспортировкой грузов.

Выгода от географического расположения России на перекрестке торговых путей между Востоком и Западом может быть огромной, но для достижения нового уровня транспортных услуг необходимо решить актуальную научно-техническую проблему: резкого сокращения цены, энергетических затрат и времени перевозок по суше в масштабах, по крайней мере Евразийского материка.

И одними из наиболее перспективных решений в области развития высокоскоростных технологий транспортно-логистических систем представляются проекты в области создания транспортных коридоров атмосферного (АМЛТ) [17–19], и, особенно, вакуумного, – ВМЛТ [23,5,9–13,31–32].

На базе ВМЛТ можно будет, например, создать новую транспортную концепцию мощных и экономичных, так называемых «энергопроводов», способных поставлять различного класса энергоносители (нефть, бензин, дизельное топливо, нефтепродукты) со скоростями перемещения порядка 6 500 км/час (1 800 м/с) на расстояния в тысячи и десятки тысяч километров практически без ощутимых транспортных потерь, при затратах энергии менее 0,004 кВт·ч/т·км, что является на сегодня наилучшим из прочих конкурентных вариантов [9-11,13,31,32] (см. рис. 1).

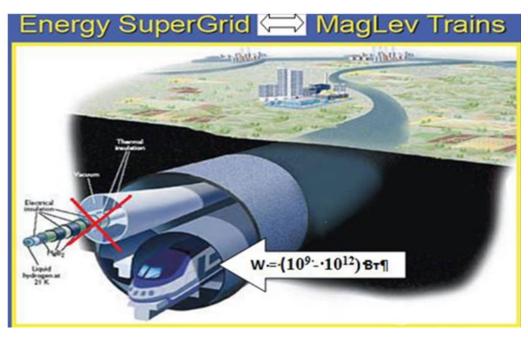


Рис 1. Схема магнито-левитационного «энергопровода»

Отдельной составляющей, влияющей на развитие и транспортной инфраструктуры, и логистических систем, является развивающаяся международная интернет-торговля. Интернет (РІ) создает новейшую инфраструктуру в цепочке поставок, которая позволяет трансформировать существующую логистическую систему в универсально взаимосвязанную систему. Структура РІ основана на подобных ВМЛТ стандартных и интеллектуальных модульных контейнерах РІ или капсулах, которые транспортироваться способом. любым Сегодня товарооборота в КНР, порядка 13% в США, приходятся на интернетторговлю, обеспеченную транспортно-логистическими сервисами [14-16,24,25]. Примером эффективного построения новых транспортных и логистических систем является, например, деятельность компании Amazon (США) [25].

В России, как и в ряде других стран, осуществляется лабораторная базовых принципов ВМЛТ [2,10–13,27–32]. разработанных МАИ [29–30] коллегами ИЗ методик расчёта необходимых обосновывающих расчётно-теоретических работ первого этапа развития ВМЛТ – «атмосферного» магнито-левитационного транспорта – АМЛТ, – созданы реальные масштабируемые образцы действующих малоразмерных различных основе макетов на высокотемпературных сверхпроводников (BTC Π). Москве. территории ИРЭ им В.А.Котельникова РАН, на основе аналогичных расчётов, для ВМЛТ были разработаны, созданы и успешно испытаны различные действующие и масштабируемые демонстрационные макеты эффективных магнитолевитационных трасс ВМЛТ на базе постоянных высокоэнергетических магнитов NdFeB, созданы и также успешно испытаны различные перспективные варианты «левитеров», – криостатов с блоками различных конфигураций ВТСП, поддерживающих длительное время необходимые температуры криостатирования в рабочем режиме и обеспечивающих их устойчивую левитацию во всех испытанных вариантах магнитолевитационных систем, а также варианты вакуумных оболочек макетов ВМЛТ [2,10-13,31,32].

На рис. 2 представлены характерный образец результата расчётов, проведенных по этой методике для реальной существующей трассы постоянными редкоземельными магнитами на основе NdFeB и результаты расчёта следующей инновационной конфигурации схемы ВМЛТ, в которой при замене ранее рассмотренной трассы из постоянных РЗМ магнитов на основе NdFeB, на ВТСП рейс-трековые катушки открываются новые предпосылки для организации и исследования ещё более оптимального одновременного сочетания сил и вертикальной, и боковой стабилизации при движении модели капсулы над трассой из комбинации подложки, дистанционирующих промежутков и рейс-трековых ВТСП катушек.

Проведены работы по исследованию применимости ряда имеющихся измерительных стенлов И методик ДЛЯ получения необходимых экспериментальных результатов. В частности, автоматизированная холловской установка трёхмерной магнитометрии ДЛЯ проведения тестовых измерений топологии 3D магнитного поля рабочей и обратной сторон специально выделенного единичного фрагмента имеющейся трассы на постоянных магнитах NdFeB и тестового единичного магнита NdFeB на подложке, результаты которых приведены на рис. 3 в качестве примера получаемых на установке результатов.

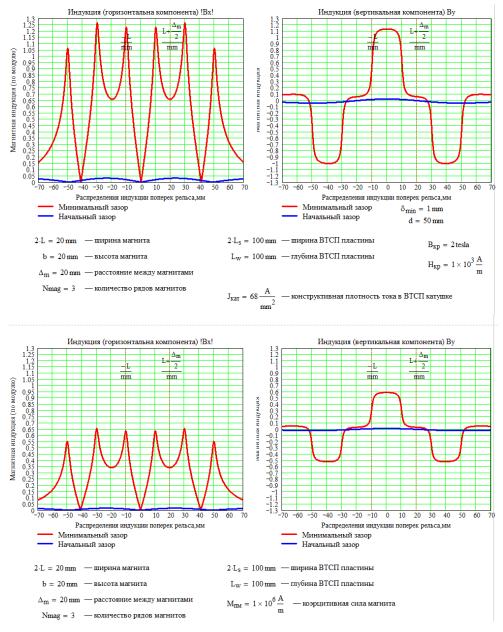


Рис. 2. Результаты расчёта конфигурации магнитного поля (в Тл по оси у и в мм по оси х) над рабочей поверхностью одного из макетов трассы ВМЛТ на основе NdFeB (внизу) и рейс-трековых катушек (вверху) ВТСП

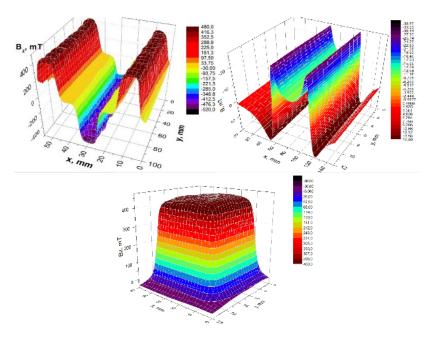


Рис. 3. Примеры результатов измерения топологии магнитного поля вариантов трассы (слева и в центре) и единичного магнита (справа)

Схема другого стенда, – для исследования зависимости вертикальной левитационной составляющей («грузоподъёмности») силы взаимодействия различных инженерных, геометрических и пространственных комбинаций систем «трасса РЗМ — ВТСП подвижный элемент-«левитер»» от левитационного зазора между ними, и его фотография представлены на рис. 4.

В частности, на нём было получено экспериментальное подтверждение приемлемого соответствия полученных результатов закону аддитивности отдельных, описанных ранее [10–13,31], составляющих площади рабочей поверхности ВТСП элементов левитера при их взаимодействии с трассой ВМЛТ.

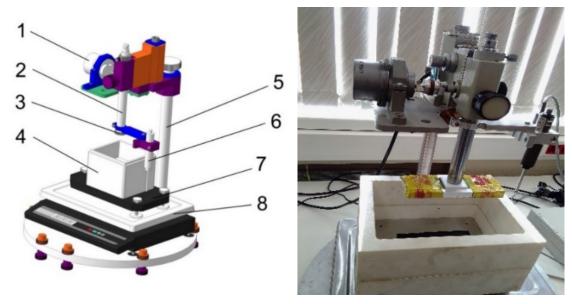


Рис 4. Схема и фотография устройства для измерения сил левитации 1 – редукторный двигатель, 2 – шток, 3 – фрагмент трассы из постоянных NdFeB магнитов, 4 – теплоизолированная кювета, 5 – стойка, 6 – датчик перемещения, 7 – тяжелое основание, 8 – электронные весы



Рис 5. Масштабированная трасса. Слева – грузовой вариант; в центре – пассажирский вариант, справа – вид трассы, длина 4 м

По результатам исследований, полученных на установке в различных условиях эксперимента, была предложена, создана и испытана масштабированная трасса грузоподъёмностью свыше 80 кг (при левитационном зазоре от 3 до 5 мм), рис 5, которая может состоять или из двух элементов по два метра, или одного на 4 м.

Параллельно, коллегами из ИПТМ СО РАН, как и планировалось нами ранее [13], проведены расчётно-экспериментальные работы по моделированию процессов термоаэродинамики элементов ВМЛТ [31-33], разработаны и созданы соответствующие экспериментальные стенды и установки, на которых было проведено несколько циклов расчётно-экспериментальных исследований. Так, например, предварительное

экспериментальное исследование аэродинамики простейшей модели транспортного средства вакуумно-левитационной транспортной системы в путепроводе в условиях разреженного ($P = 200 \div 1000 \, \Pi a$) воздушного Маха от M = 0.1до M=5числами аэродинамической установке «МАУ» ИТПМ СО РАН В качестве рабочего газа рассматривался воздух. В результате выполненной серии численного получены обобщенные моделирования разгона аэротермодинамических характеристик модели транспортного средства. На рис. 6, для различных геометрических вариантов, представлены зависимости, изображающие изменение коэффициента аэродинамического сопротивления (Сх) модели транспортного средства по мере его разгона.

Выполнены и подтверждены оценки ожидаемых нами неприемлемо высоких, по сравнению с ВМЛТ, значений аэродинамических нагрузок и требуемой мощности привода в путепроводе с характерным, например, для программы Илона Маска «Hyperloop», давлением 0,01 атм., или 1000 Па даже для гипотетически малого диаметра капсулы 1,3 м.

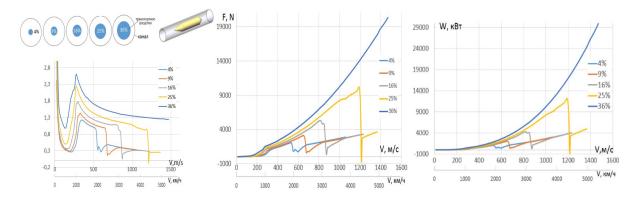


Рис 6. Слева – кривые зависимостей коэффициента аэродинамического сопротивления транспортного средства от скорости движения, в центре и справа – ожидаемые аэродинамическое сопротивление транспортного средства и требуемые мощности на его преодоление

Полученные результаты наглядно продемонстрировали, что для условий программы, например, «Нурегloop», необходимость снижения энергетических затрат на преодоление аэродинамического сопротивления требует существенного увеличения размеров вакуумного путепровода в поперечном сечении. Даже с диаметром капсулы всего 1,3 м, наименьшие затраты энергии из полученных соответствуют путепроводу диаметром 6,5 м. Наибольшие затраты энергии соответствуют путепроводу диаметром 4,7 м, а т.к. стоимость путепровода имеет кубическую зависимость от его диаметра, необходимо работать при значительно, на порядки величины, более низких, характерных только для технологии ВМЛТ, давлениях.

В ИТПМ СО РАН в 2017 г. была разработана и запущена в изготовление малогабаритная баллистическая установка, на которой

проведены предварительные, калибровочные эксперименты при скорости разгоняемой модели вплоть до 400 м/с (1440 км/ч).

В настоящее время на территории ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН при участии специалистов из МАИ [29,30] предпринята успешная попытка создания экспериментального «потешного», маломасштабного макета участка ВМЛТ на основе различных вариантов трасс из редкоземельных магнитов (РЗМ) NdFeB и вариантов высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) — левитеров на основе керамики Y-Ba-Cu-O [2,10,11,13,31] (рис. 7).

Исследуются возможности получения всех необходимых для масштабирования дальнейшего экспериментального стенда ИРЭ количественных экспериментальных данных, по основным критическим технологическим параметрам магнитов. В рамках создания модели планируется активно использовать сверхпроводниковые составляющие элементы трассы ВМЛТ, микрокриогенные системы (МКС) криостатирования ВТСП на уровне температур 60-100 К с КПД на уровне 10-12% от цикла Карно и на более низком уровне температур, высокоэффективные системы синхронного линейного привода рекуперации энергии движения левитера, различные варианты вакуумных оболочек рис. 7), является производственно-(см. что, ПО сути, технологической отработкой создаваемой модели с возможностью её последующего полупромышленного масштабирования.



Рис. 7. Некоторые макеты трасс испытательного стенда ВМЛТ на территории ИРЭ и один из макетов ВМЛТ на входе в вакуумную оболочку

Создан и испытан реально действующий и масштабируемый демонстратор одного из новых и перспективных вариантов простейшей начальной технологии как инерциального атмосферного, так и вакуумного магнитолевитационного транспорта, так называемого «Квантового Гравилёта» (см. рис 8), планируемого для оснащения и развития научно-экспериментальной базы Российского Детского Образовательного Центра «СИРИУС» в г. Сочи. [21]



Рис 8. Вариант трассы «Квантового Гравилёта» в «Сириусе»

Принцип его экологичного и энергоэффективного движения основан на симбиозе использования явлений взаимодействия сверхпроводниковых квантовых эффектов комбинаций из «левитера» на основе, например, криостатируемых высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), трасс из ВТСП и высокоэнергетических постоянных магнитов на основе NdFeB и гравитационного поля Земли. Предварительные эксперименты показали, что даже при специально созданном дополнительном сопротивлении, – разрыве магнитной трассы, левитер общей массой 1 кг, стартовавший с перепадом высоты середины и концов трассы в 0,1 метра, т.е с начальной запасённой потенциальной энергией не более 1 Дж, мог продолжать левитационное движение в течение более 1 часа 15 минут или 4 500 сек (см. рис. 9).

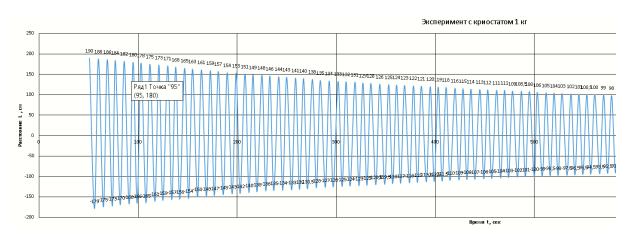


Рис. 9. Фрагмент графика характерной зависимости пройденного расстояния L от времени левитации t

Соответствующая примерная среднеинтегрального оценка (потерь сопротивления движению энергии) данном варианте взаимодействия трассы и левитера составит всего: 1 Дж / 4500 с, или всего 220 мкВт даже при наличии дополнительного искусственного сопротивления движению. Поместив в дальнейшем эту комбинацию трасса – левитер, при прочих равных условиях, в вакуумную оболочку (слева на переднем плане фотографии) мы сможем, например,

прочих оценить соотношение аэродинамических потерь, И ЧТО дальнейшего проектирования представляет интерес ДЛЯ масштабирования следующих поколений и этапов разработок систем ВМЛТ. Планируется создание и исследование подобных конструкций ВМЛТ и на основе недавно предложенных нашими коллегами из Санкт-Петербурга конфигураций магнитного устойчивых [4] поля вариантов взаимодействия инновационных левитеров И трасс высокоэнергетических постоянных магнитов «комнатных» при температурах окружающей среды. На рис. 10 слева показана блок-схема магнитной системы устройства, в которой первая магнитная система неподвижно закреплена на дорожном полотне, а вторая магнитная система закреплена на транспортном средстве, на рисунке справа – блок-схема магнитной системы магнитолевитационного транспортного средства, в первая магнитная система неподвижно закреплена транспортном средстве, а вторая магнитная система закреплена на дорожном полотне.

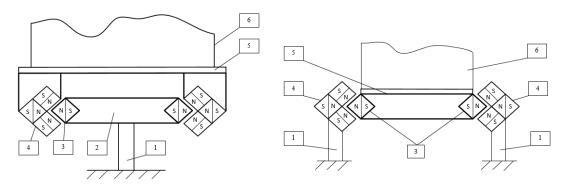


Рис. 10. 1 — опорная часть путевой структуры, 2 — путевая структура, 3 — первая магнитная система, 4 — вторая магнитная система, 5 — опорная платформа, 6 — кузов транспортного средства.

При этом уже сейчас некоторые общие лабораторные результаты показывают, что первоначальные страхи экономической неэффективности разрабатываемой транспортной системы практически являются несостоятельными, а фактические издержки на обеспечение ВТСП эффекта сопоставимы с существующими аналогами в виде затрат на железнодорожный транспорт, но при этом достигаемые скоростные показатели и показатели энергетической эффективности значительно превосходят потенциал развития железнодорожного «колесного» и атмосферного маглев-транспорта.

Заключение

Технологии и варианты дальнейшего развития высоко- и сверхвысокоскоростных транспортных средств, объединенных в единую

ИТТС, несомненно, экономически выгодны и политически необходимы для России, но на базе традиционных вариантов транспортных систем эта проблема не решаема.

Особенно привлекательна реализация сверхскоростных транспортных путей на основе ВМЛТ, обладающих непревзойденной скоростью, экономичностью и энергетической эффективностью.

Экспериментально подтверждена возможность масштабирования пилотных проектов ВМЛТ на базе результатов исследований, проведенных на предварительном миниатюрном, или «потешном» макете, что позволяет создать пилот-макет «среднего масштаба». В случае его успешного функционирования можно будет перейти к созданию и испытанию более масштабных систем, но для более тщательного обоснования пилотных проектов ВМЛТ ещё необходимо выполнить большой объем разносторонних фундаментальных теоретических и экспериментальных работ.

Необходимо решением Правительства РФ признать важность проекта на государственном уровне и включить работы по созданию и развитию МЛТ и ВМЛТ в «Стратегию развития транспорта на период до 2030 года»

Литература

- 1. Журавлева Н.А., Панычев А.Ю. Проблемы экономической оценки скорости в транспортно-логистических системах в новом технологическом укладе// Транспортные системы и технологии. 2017. Выпуск 4(10).
- 2. *Терентьев Ю.А.*, *Филимонов В.В.* и др. Текущее состояние и перспективы развития интегральной транзитной транспортной системы (ИТТС) России на базе вакуумного магнитного левитационного транспорта (ВМЛТ)// Транспортные системы и технологии. 2019, Т.5, №4.
- 3. Global sustainable development report 2019 drafted by the Group of independent scientists. https://bios.fi/bios-f
- 4. Магнитолевитационное транспортное средство: патент RU2724030C1 № 2019125403; заявл. 09.08.2019; опубл. 18.06.2020. Бюл. №17 / Зименкова Т.С., Казначеев С.А., Краснов А.С. 15 с.
- 5. Дроздов Б.В. О перспективном облике глобальной транспортной системы // Культура. Народ. Экосфера/ Труды социокультурного семинара имени В.В.Бугровского. Выпуск 10. М.: Спутник+, 2017.
- 6. https://www.warandpeace.ru/ru/news/view/144506/
- 7. https://www.asiatimes.com/2019/11/article/busting-the-myth-of-chinas-new-silk-roads/

- 8. *Альметова З.В.* и др. Интеграционные процессы транспортных систем евразийского экономического союза // Экономика и менеджмент. 2019. Т.12, №3, с.161-168
- 9. Дроздов Б.В., Терентьев Ю.А. Перспективы вакуумного магнитолевитационного транспорта // Мир транспорта. 2017. Т.15, №1, с.90-99.
- 10. Филимонов В.В., Малинецкий Г.Г. и др. Вакуумный магнитолевитационный транспорт и транспортные коридоры России // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: Труды 1-й Международной конференции. М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2018. С.102-107.
- 11. Филимонов В.В., Малинецкий Г.Г. и др. Высокоскоростные транспортные коридоры как один из механизмов реализации национальной идеи России // XIII Международная научно-техническая конференция «Вакуумная техника, материалы и технология», Москва, КВЦ «Сокольники», 12–14 апреля, 2018.
- 12. Lyovin B.A., Davydov A.M. et al. The development of criteria for evaluating energy efficiency and the choice of the optimal composition of the subsystems in the russian integral transit transport system// The 11th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications. Osaka, Japan, 2017.
- 13. *Terentyev Yu.A.*, *Filimonov V.V.* et al. Russia integrated transit transport system (ITTS) based on vacuum magnetic levitation transport (VMLT). Transportaion Systems and Technology. 2018; 4 (3 suppl. 1): 57-84.
- 14. https://regnum.ru/news/2396956.html
- 15. Yang C., Lan S., Tseng M.L. Coordinated development path of metropolitan logistics and economy in Belt and Road using DEMATEL—Bayesian analysis // International Journal of Logistics Research and Applications. 2019. V.22, N1, p.1-24.
- 16. *Никитин Н.А.* Пути совершенствования процесса организации международных контейнерных перевозок // European Scientific Conference. 2019. C.74-76.
- 17. Магнитолевитационная транспортная технология / Под ред. В.А.Гапановича. М.: Физматлит, 2014. 476 с.
- 18. Магнитолевитационный транспорт: научные проблемы и технические решения / Под ред. Ю.Ф. Антонова, А.А. Зайцева. М.: Физматлит, 2015.-612 с.
- 19. Зайцев А.А., Морозова Е.И. и др. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны. СПб.: НП-Принт, 2015. 140 с.
- 20. Technical-economical comparison of Maglev and High Speed Systems http://archives.republicans.transportation.house.gov/Media/File110th/Rail/3-20-07-roundtable-Bradydornier.pdf

- 21. Проект «Квантовый гравилёт в «СИРИУСЕ» https://sochisirius.ru/preview/obuchenie/project/smena618?uid=6557d3717f 532d7dda3f6932d166d1cc
- 22. Островская Г.В. Магнитные дороги профессора Вейнберга (К 100-летию лекции «Движение без трения»). Вестник науки Сибири. 2014, №2(12).
- 23. ET3 online education // The website of the Evacuated Tube Transport Technology. http://et3.eu/et3-online-education.html
- 24. Трофимова В.В. Развитие интернет-торговли в России и мире // Бизнесобразование в экономике знаний. 2018, №2(10). https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-internet-torgovli-v-rossii-i-mire
- 25. Журнал Forbes: Атагоп стала крупнейшей компанией в мире по капитализации. URL https://www.forbes.ru/tehnologii/369929-amazon-stala-krupneyshey-kompaniey-v-mire-po-kapitalizacii
- 26. *Нестеров С.Б., Кондратенко Р.О.* и др. Почтовая доставка на основе магнитной левитации в разреженной среде. XXIV Научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника» Судак, 16–23 сентября 2017 г. С.247.
- 27. *Deng Z.*, *Zhang W.* et al. High-temperature superconducting maglevevacuated tube transport (HTS Maglev-ETT) Test System. IEEE Trans. Appl. Supercond. 2017, 27(6), 3602008.
- 28. Sun R.X., Zheng J. et al. // Int. J. Mod. Phys. B. 2017, 31, 1745014.
- 29. Ковалёв Л.К., Ковалёв К.Л. и др. Магнитные подвесы с использованием объёмных ВТСП элементов // Труды МАИ, 2010, Вып. №38.
- $30.\, Koвan\"eв \, Л.К., \, Koнeeв \, C.M.$ и др. Электрические машины и устройства на основе массивных высокотемпературных сверхпроводников. М.: Физматлит, 2010.-396 с.
- 31. Терентьев Ю.А., Коледов В.В. и др. Подготовка экспериментальной базы и результаты начального этапа экспериментальной отработки критических элементов технологии ИТТС России на базе ВМЛТ Вакуумного Магнито-Левитационного Транспорта // XIV Международная научно-техническая конференция «Вакуумная техника, материалы и технология», Москва, КВЦ «Сокольники», 16–17 апреля, 2019.
- 32. Фомин В.М., Звегинцев В.И. и др. Вакуумный магнитолевитационный транспорт: поиск оптимальных рабочих параметров // Транспортные системы и технологии. 2016, вып.(3), 5. https://transsyst.ru/transsyst/article/view/7626/6123
- 33. Zvegintsev V.I., Morozov S.O., Nalivaychenko D.G. Gas dynamics of the uniform body acceleration in the channel// AIP Conference Proceedings. 2018, 2027, 030012; https://doi.org/10.1063/1.5065106