

**ВАКУУМНЫЙ МАГНИТО-ЛЕВИТАЦИОННЫЙ И ГРАВИТАЦИОННЫЙ
ТРАНСПОРТ РОССИИ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.
ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ БАЗЫ**

**VACUUM MAGNETIC LEVITATION AND GRAVITY
TRANSPORT OF RUSSIA ON THE BASIS OF DOMESTIC TECHNOLOGIES.
CURRENT STATE OF TECHNOLOGICAL AND EXPERIMENTAL
RESEARCH BASE**

Ю.А.Терентьев¹ / tereny@mail.ru, В.В.Коледов², В.Г.Шавров², А.С.Бугаев²,
С.Б.Нестеров¹, Р.О.Кондратенко¹, А.И.Холопкин¹, С.В.Семенов¹, Г.Г.
Малинецкий³, В.С. Смолин³, В.В. Филимонов⁴, П.В.Куренков⁵, А.М.Давыдов⁵,
А.В.Камынин⁶, И.В.Гавриков⁶, К.Л.Ковалев⁷, Р.И.Ильясов⁷, Б.В.Дроздов⁸,
А.А.Сафонов⁹, Н.А.Нижельский¹⁰, П.С.Бражник¹¹, В.В.Асеев¹², В.С.Ларюхин¹⁰,
А.В.Бабачанас⁵, В.К.Балабанов¹³, И.П.Малашин¹⁰, Т.В.Пальцева¹⁴, В.И.Зубцов¹⁴,
Р.Е.Маргушин¹⁴, А.К.Мутьева¹⁴, В.Д.Исаев¹⁴, Н.В.Кряквин¹⁷, И.С.Пронькин¹⁸,
С.О.Шилло¹⁹, И.А.Ямковой¹⁰, С.В.Самойленков¹⁵, В.И.Щербаков¹⁵,
О.В.Вартанов¹⁶, Д.С.Токаренко¹⁶

¹ РНТВО им. академика С.А. Векшинского, г. Москва

² Институт радиотехники и электроники РАН, г.Москва

³ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, г.Москва

⁴ НПО АСТ, г.С.-Петербург

⁵ РУТ МИИТ, г.Москва

⁶ ЗАО «СпецМагнит», г.Москва

⁷ МАИ (НИУ), г.Москва

⁸ JSC «НИ ИАТ», г.Москва

⁹ ООО «Нева Технологии», г.Москва

¹⁰ МГТУ им. Баумана, г.Москва

¹¹ НИЦ «Курчатовский институт», г.Москва

¹² Филиал АО «ОДК» МКБ «Горизонт», г.Москва

¹³ Самарский НИУ им.Академика С.П. Королёва, г.Самара

¹⁴ ФГБУ «Московская школа № 641им.С. Есенина», г.Москва

¹⁵ ЗАО «SuperOx», г.Москва

¹⁶ НТУ СИРИУС, г.Сочи

¹⁷ МИФИ, г.Москва

¹⁸ МиСИС, г.Москва

¹⁹ МИРЭА, г.Москва

В статье приведены краткие предварительные результаты текущего этапа развития российской экспериментально-исследовательской и технологической базы, моделирования и тестирования основных критических компонентов изначально отечественной технологии вакуумно-магнитного левитационного транспорта (ВМЛТ) и гравитационного транспорта (ГТ).

Ключевые слова: транспорт, сверхскоростная логистика, импортозамещение, вакуум, левитация, редкоземельные магниты, NdFeB, ленточные высокотемпературные сверхпроводники, керамика, Y-Ba-Cu-O.

The article presents brief preliminary results of the current stage development of the Russian experimental, research and technological base, main critical components modeling and the initially domestic technology of vacuum magnetic levitation transport (VMLT) and gravity transport (GT) testing.

Key words: transport, ultraspeed logistics, import substitution, vacuum, levitation, rare earth magnets, NdFeB, type high-temperature superconductors, htsc, ceramics, Y-Ba-Cu-O.

ВВЕДЕНИЕ

Вакуумный магнито-левитационный транспорт (ВМЛТ) и гравитационный транспорт (ГТ) позволяют перевозить грузы с рабочей скоростью до 6500 км / ч и более, имеет очень низкое энергопотребление и относительно дешевую инфраструктуру [1].

Примечательной особенностью ВМЛТ и ГТ является то, что все его элементы уже реализованы на практике, идёт работа по оптимизации технических решений, развитию таких систем в больших масштабах.

В данной работе мы рассматриваем некоторые теоретические и экспериментальные результаты, полученные авторами по приближению ВМЛТ и ГТ к практической реализации.

Обеспечивая мировой рынок различными видами товаров, и обладая значительным транзитным потенциалом на евразийском пространстве, Российская Федерация должна поддерживать современную логистическую инфраструктуру для обеспечения глобальной конкурентоспособности экономики.

Транспортно-логистические системы, основанные на отечественных технологиях, имеют все возможности для создания необходимого сотрудничества в плане транзита. Формирование отечественной интегрированной транзитной транспортной системы (ИТТС) создает внутренние и внешние экономические связи, а также формирует новые передовые объекты в смежных отраслях.

Ниже приведены краткие предварительные результаты текущего этапа развития отечественной экспериментально-исследовательской и технологической базы, моделирования и тестирования основных критических компонентов технологии ВМЛТ и ГТ.

ЛОКАЛЬНЫЕ СЕТИ И МАГИСТРАЛЬНЫЕ ЛИНИИ МАГЛЕВ

Весь ход последних текущих геополитических изменений показывает справедливость прогнозов, сделанных, например, недавно авторитетными международными экспертами [2]:

«Мы живем в эру потрясений и решительных изменений в энергетических и материальных основах экономики. Эра дешевой энергии подходит к концу», считают авторы исследования. Некоторые надеются, что новые технологии – искусственный интеллект, интернет вещей, блокчейн – освободят рабочих и минимизируют стоимость производства. Но авторы считают такие сценарии утопичными и указывают, что достижение нынешнего или более высокого уровня энергообеспеченности экономики в ближайшие десятилетия будет крайне сложно, если не невозможно [2].

Следует признать, пишут исследователи, что мы не сможем поддерживать нынешний уровень экономического роста, и придется предпринимать меры по снижению энергетических затрат – в транспорте, пищевой промышленности, строительстве. Объем воздушных и морских грузоперевозок тоже нужно будет сократить, а планирование... должно больше использовать общественный и электрифицированный транспорт и т.д.», стремясь к использованию наиболее энергосберегающих транспортных технологий и максимально возможному сокращению энергетических затрат на транспорте.

Развитие наиболее энергетически эффективного и экологичного на сегодня Вакуумного Магнито-Левитационного Транспорта (ВМЛТ) и его разновидности первого этапа развития, - Атмосферного Магнито-Левитационного Транспорта (АМЛТ), связаны

с надеждами и перспективами резкого снижения энергетических затрат на обеспечение процесса перемещения грузов и пассажиров и соответствующего увеличения, при прочих равных условиях, скорости и «производительности» этого процесса за счёт полного устранения контактного трения КОЛЕСО-РЕЛЬС и обусловленного им сопротивления движению и соответствующих значимых потерь энергии, а на втором этапе - ВМЛТ, - ещё и практически полного устранения в вакуумной среде аэродинамического сопротивления, пропорционального квадрату скорости перемещения.

При наличии правильных технологических подходов, это позволяет ещё и использовать практически полную (вплоть до 99% и более, при использовании обратимых линейных сверхпроводниковых электрических двигателей-генераторов) рекуперацию энергии, затраченной на разгон в начальном участке пути и дальнейшее перемещение при обратном возвращении её в сеть в процессе торможения на конечном участке пути, что позволяет сделать, в перспективе, эту технологию самой высокоскоростной и энергетически эффективной.

Достаточная гибкость и универсальность указанной технологии позволяет нам вписывать её многочисленные варианты и модификации практически в весь спектр отдельных составляющих интегральной транспортной системы (ИТС), модернизируя, усиливая, и дополняя уже имеющиеся, хорошо проверенные практикой традиционные, но менее энергетически эффективные транспортные технологии.

При этом определение оптимальных границ в ИТС для каждой из вышеописанных отдельных, составляющих её, транспортных технологий, должно определяться исходя из оптимизации основной целевой функции каждой локальной транспортной системы (ТС), даже иногда и в ущерб достижению оптимальных параметров её отдельных составляющих.

На наш взгляд одним из основных критериев выбора оптимальных границ функционирования каждой ТС должен быть простой критерий оценки её энергетической эффективности, например, один из описанных ранее [3]. УРЭ, ТРАН или RTU, учитывающих не только затраты в единицах энергии, на перемещение единицы массы на единицу расстояния, (например, в Дж/кг*м или в кДж/тонно*км), но и скорость перемещения этой единицы массы.

Тогда предварительное ранжирование отдельных транспортных технологий и видов транспорта, в первом приближении, по этим критериям позволит более объективно и правильно определять эти границы, учитывая естественно в дальнейших приближениях и другие определяющие факторы и критерии.

Совершенно очевидно, что при создании и модернизации любого транспортного комплекса, особенно сейчас, необходимо добиваться оптимального сочетания, как минимум трёх основных параметров транспортного процесса: его скорости, производительности и высокой энергетической эффективности, так как реализация любого транспортного проекта всегда тесно связана и взаимно обусловлена развитием соответствующего ему энергетического проекта [4].

Так, например, при планировании инновационного сценарии развития, и при учете ввода к 2020 г. в России дополнительных энергетических мощностей в объеме 165 ГВт, транспорт России мог потреблять вплоть до 54 ГВт мощности (а это больше всей ныне установленной мощности всех ГЭС России) [5].

К тому же, в последнее время становится всё более очевидным, что объективный переход человеческого общества к новым технологическим укладам, требует максимального увеличения скорости любых 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 достигнутые максимальные сравнительные скорости ТС по-прежнему являются несопоставимо низкими [6-9].

Далее дается описание динамики развития одного из возможных решений – интегральной транспортной системы (ИТС) и разновидностей одного из её частных случаев – интегральной транзитной транспортной системы (ИТТС), на основе отечественных, предложенных ещё в начале XX в. профессором Б.П. Вайнбергом [10] и развитых в дальнейшем его последователями [1,3, 5-9, 11-26] технологий атмосферного (АМЛТ) и вакуумного магнитно-левитационного транспорта (ВМЛТ), минимизирующего подобные риски транспортной логистики при изменении политической и экономической конъюнктуры, вследствие рекордно низкого потребления ими энергии на перемещение даже при достижимой сверхзвуковой скорости перемещения массы грузов, при свойственных технологиям рекордно высоких провозной способности и экологичности самого перевозочного процесса.

Предлагаемая концепция ИТС предполагает использование для реализации своей целевой функции использование в её составе абсолютно всех имеющихся традиционных и перспективных видов транспорта, но при определении для каждого конкретного случая оптимальной конфигурации ТС из имеющегося набора вариантов при определении каждому составляющему её виду ТС границ своей оптимальной ниши, где его использование будет максимально эффективно с точки зрения реализации общей для этой конкретной ТС целевой функции.

Как уже отмечалось, для выбора оптимального состава системы и определения места и границ собственной ниши для конкретных видов транспорта, необходимо провести их оценку [1,3–6].

В настоящее время сравнение объёмов проделанной транспортной системой полезной работы за сопоставимый период времени, обычно выражается в тонно-километрах (т·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 ТС, более объективные и наглядные результаты можно будет получать на основе использования предложенной П.Г. Кузнецовым и развитой в дальнейшем его коллегами и учениками [4,5-9] системы некоторых натуральных показателей, в терминах и определениях так называемой «физической экономики».

Для более корректного описания транспортных процессов, изменение удельных и общих затрат энергии на перемещение материальных объектов, соответствующее изменению скорости, необходимо, по аналогии с [1,3-7], учитывать, например, использованием дополнительного множителя 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 ТС, «нормировочной» скорости v_n , которую мы предлагаем сейчас принять равной 100 м/с.

Подобную сопоставимую единицу транспортной работы можно было бы назвать «RTU, – (Russian Transport Unit)», или «русской 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.» [1,3,5-9].

Такие предварительные оценки уже были проделаны ранее [1,3-9,17] 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 (Таблица 1).

В «большой энергетике» принято для оценок энергетической эффективности различных процессов использовать универсальный искусственный параметр сравнения

энергетических характеристик, «калорийности», различных видов топлива, так называемую «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 [3-5], но несколько модифицированной единицы «тран», которая учитывает сравнительное влияние скорости транспорта путем умножения соответствующего параметра на квадрат отношения скорости к некоей 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

Энергетические показатели различных транспортных систем.

Обозначения в таблице 1: ВСМ — высокоскоростная магистраль, TGV — тип западноевропейской

ВСМ, СТЮ — струнный транспорт Юницкого, СПК — судно на подводных крыльях, ВМЛТ – вакуумно-магнитный левитационный транспорт

N	Транспортная система	Вид	Мощность МВт	Скорость м/с	Вес полезного груза (тонн)	У.р.э. кДж / т·км
1	Боинг-747	авиа	71	253	64	4380
2	Экраноплан «Лунь»	авиа	137	138	120	8333
3	Грузовой ж.д. состав	ж.д.	4,4	20	2000	110
4	ВСМ магистраль TGV	ж.д.	8,8	83,3	50	2173
5	Автотрейлер	авто	0,338	22,2	20	761
6	СТЮ	стр.	0,040	3,3	4	120
7	Автопаром	мор.	17,6	10,8	3345	487
8	СПК "Вихрь"	мор.	3,5	19,4	26	7009
9	ВМЛТ «ЕТЗ»	универ с.	Имп. 0,5 МВт (18 сек)	180	0,4	14

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 в сочетании 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.

На базе ВМЛТ можно, например, создать новую транспортную концепцию мощных и экономичных, так называемых «энергопроводов», способных поставлять различного класса энергоносители (нефть, бензин, дизельное топливо, нефтепродукты) со скоростями перемещения около 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 [1,3-9,12-22].

Так же ВМЛТ можно использовать как «почтовую» вакуумно-левитационную конвейерную линию (ВЛКЛ) [23,24].



Рис.1. Схема транспортного коридора ВЛКЛ.

Для первой тестовой ВЛКЛ возможно построить только один трубопровод, диаметром 0,5 м или меньше, который будет работать в циклическом режиме в обе стороны (Рис.1).

Рабочая скорость грузовой капсулы на перегоне ВЛКЛ должна быть либо ниже скорости звука, с меньшей энергетической эффективностью движения, либо выше ее с большей, поскольку при околосвуковых скоростях начинается волновой кризис, сопровождающийся ростом лобового сопротивления, появлением вибраций и др. (эти скорости зависят от аэродинамических характеристик капсулы и от степени разрежения в вакуумном трубопроводе).

При давлении в вакуумном трубопроводе $P = 0,1-10$ Па скорость звука будет составлять около 1000 км/ч, что существенно меньше, чем при 1 атм. (1224 км/ч), в частности, из-за отсутствия паров воды.

Из этих соображений можно выделить две ВМЛТ, имеющие существенные различия по провозной способности и энергетической эффективности:

- **Дозвуковая ВМЛТ** (до 1000 км/ч). Требуется меньших вложений, рабочая скорость будет сопоставима со скоростью гражданской авиации (800-900 км/ч).
- **Сверхзвуковая ВМЛТ** (>1000 км/ч). Переход с дозвуковой скорости на сверхзвуковую должен выполняться настолько быстро, насколько возможно, с использованием аналога «форсажа» двигателя, как в авиации, чтобы избежать длительной поездки в зоне волнового кризиса. Такой вариант исполнения потребует больших вложений как в устройство грузовой капсулы, так и в устройство вакуумного трубопровода. С учетом вышесказанного выгоднее в начале разрабатывать дозвуковую ВЛКЛ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕКУЩЕГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ ВМЛТ И ГТ В РОССИИ

В России, как и в ряде других стран, осуществляется лабораторная отработка базовых принципов как АМЛТ [12-16, 20-22, 25-26], так и ВМЛТ [1,3,5-9,11,17-19, 24,25].

На базе разработанных коллегами из МАИ [15,16] методик расчёта и необходимых обосновывающих расчётно-теоретических работ первого этапа развития ВМЛТ- «атмосферного» магнито-левитационного транспорта – АМЛТ, – нами созданы реальные масштабируемые образцы различных действующих «потешных» малоразмерных макетов, на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

В Москве, на территориях ИРЭ им Котельникова РАН, Школы № 641 им. С.Есенина и НТУ СИРИУС, г. Сочи, 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 сопряжённых с ними «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 [1,3,5-9,17,18].

В связи с недостаточным пока финансированием проекта нами реализован подход, в котором существует определённая матрица предварительно просчитанных финансовых вариантов реализации практически всех его масштабируемых составляющих, но их выбор и реализация проводится только тогда, когда сумма располагаемого финансирования удовлетворяет именно данному конкретному просчитанному варианту.

Поэтому реализация исследовательской базы для подтверждения и изучения контролируемого рекуперативного высокоскоростного движения с помощью наиболее эффективного сверхпроводникового линейного синхронного мотор-генератора, была вынужденно заменена пока на впервые предложенный нами в [3] дешёвый вариант наиболее, на наш взгляд энергетически эффективного рекуперативного, но низко и среднескоростного, так называемого Квантово-Гравитационного метода управления движением левитирующей капсулы (левитера) над трассами, созданными именно на базе разработанных коллегами из МАИ [15,16] методик расчёта.

Также реализованы и варианты менее энергетически эффективного, но более дешёвого, резервного, аэродинамического метода управления движением с бортовыми автономными источниками энергии и электродвижения и бесконтактным дистанционным радиоуправлением.

На рис. 2 представлены характерный образец результата расчётов, проведенных по этой методике для реальной существующей трассы второго уровня с постоянными РЗМ магнитами 20x20x50мм³ 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 или более сильные магниты с поверхностной индукцией В, порядка 1 Тл (рис 3).

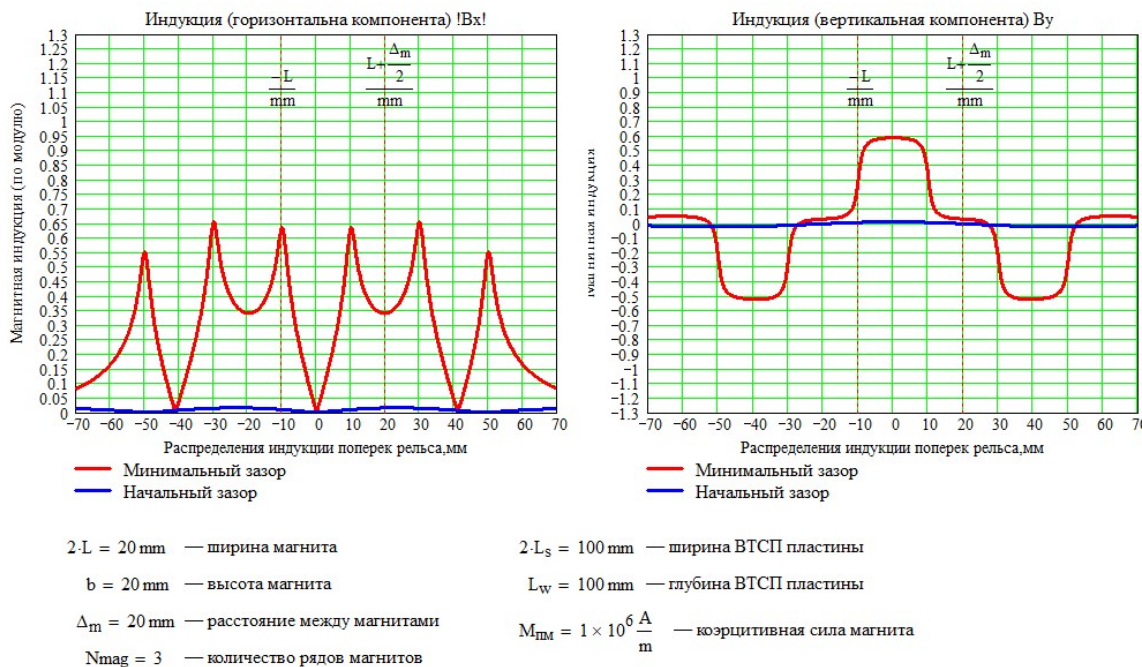


Рис.2. Образец расчётов для реальной существующей трассы с постоянными РЗМ магнитами 20x20x50мм³ на основе NdFeB.

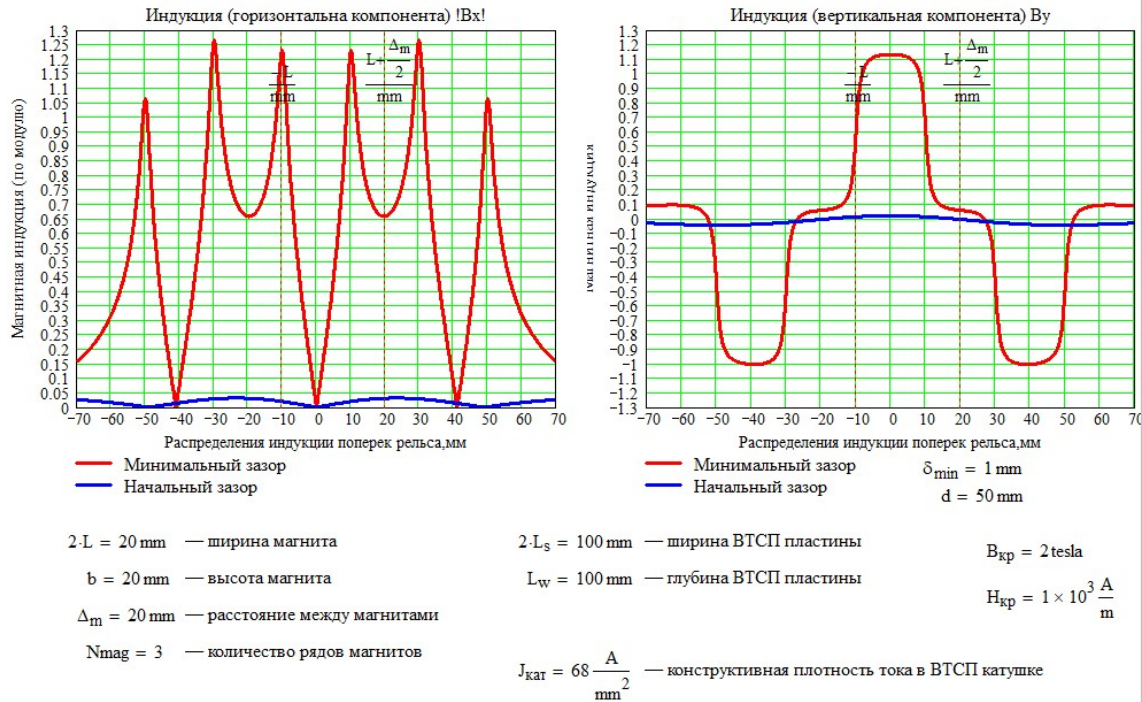


Рис.3. Результаты расчёта конфигурации магнитного поля (в Тл по оси Y и в мм по оси X) над рабочей поверхностью одного из макетов трассы ВМЛТ на основе NdFeB (вверху) и рейс-трековых катушек ВТСП (внизу).

При создании этих вариантов трасс открываются новые предпосылки для организации и исследования ещё более оптимального одновременного сочетания сил и вертикальной и боковой стабилизации при движении модели сверхпроводящей ВТСП капсулы- левитера, названного нами Квантовым Гравилетом, над трассой из комбинации подложки, дистанционирующих промежутков и рейс-трековых ВТСП катушек или новых, более мощных, вариантов РЗМ, так как с увеличением располагаемой индукции магнитного поля B , так называемое магнитное давление P , отвечающее за силу взаимодействия, грузоподъёмность и стабилизацию левитационного движения, изменяется в соответствии с простым соотношением:

$$P = \frac{B^2}{2(\mu_0)} = \frac{(1 \cdot 1)}{(2 \cdot 4 \cdot \text{Пи} \cdot 10^{-7})} = 3,98 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 \quad (1)$$

(При $B = 1 \text{ Тл}$, обеспечивая в этом случае удельную грузоподъёмность порядка 4 кг/см^2).

Учитывая экспериментально подтверждённое нами ранее приемлемое соответствие расчёту топологии магнитного поля реальных образцов созданных нами, например, трасс первого уровня масштабирования размером $50 \times 15 \times 6000 \text{ мм}^3$ с магнитами $10 \times 10 \times 10 \text{ мм}^3$ (рис 4), а также явление аддитивности ВТСП элементов, меняя необходимое количество единичных блоков ВТСП и, соответственно, площадь магнитного силового взаимодействия элементов трассы и левитера, мы можем проектировать гравитационный и ВМЛТ транспорт необходимой нам грузоподъёмности и гарантированного обеспечения заданной необходимой силы боковой стабилизации левитационного движения.

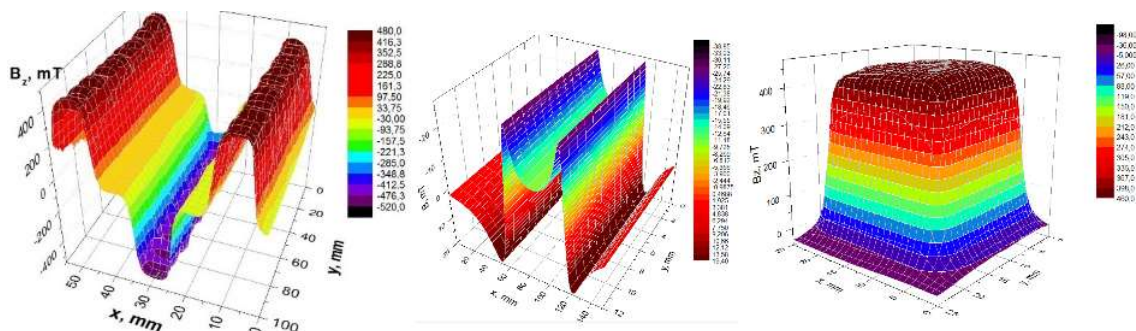


Рис.4. Примеры результатов измерения топологии магнитного поля вариантов трассы (слева и в центре) и единичного магнита (справа).

При этом исследуются и используются как коммерчески доступные зарубежные объёмные образцы ВТСП, так и новейшие перспективные отечественные разработки левитационных блоков из ВТСП ленты компании SUPEROX и РЗМ магниты отечественного производства, что является по сути прямым импортозамещением.

Однако в связи с недостаточным пока финансированием проекта, дальнейшее масштабирование вынужденно проводилось по разделному алгоритму. Более дешёвые варианты трасс первого уровня были масштабированы, при прочих равных условиях, только по длине трассы, а более дорогие варианты масштабирования, - в основном по грузоподъёмности, - при минимально репрезентативной длине трассы.

Общая длина трасс первого уровня, разбросанных сейчас по различным экспериментальным площадкам, может достигать длины более 30 метров, при относительно невысокой грузоподъёмности порядка 10 кг на один левитер (рис.5).



Рис.5. Пример трассы первого уровня (масштабирование только по длине трассы).

Для второго уровня масштабирования (трасса 100x30x2000 мм³, на магнитах 20x20x50 мм³) максимальная длина составила 2x2000 мм, а грузоподъёмность двух параллельных трасс в четырёхопорном, более устойчивом варианте исполнения левитера, - до 198 кг. (рис.6)



Рис.6. Пример трассы второго уровня (масштабирование в основном по грузоподъёмности, при минимально репрезентативной длине трассы).

Третий уровень пропорционального масштабирования (200x60x1000 мм³, с магнитами 40x40x100 мм³) вынужденно заменили на не пропорциональный, но коммерчески доступный вариант а) 250x25x1000 мм³ с магнитами 50x50x25 мм³ и б) 50x50x30 мм³ с общей длиной, соответственно, 2000 и 800 мм.(рис.7)

Третий уровень позволяет обеспечить грузоподъёмность до 165 кг на единичную левитирующую опору, что, при наличии финансирования будет масштабировано до четырёхопорной платформы с проектной грузоподъёмностью уже более чем 600 кг, что вполне достаточно для целевого исследования и моделирования капсул ВМЛТ, имеющих как раз именно такую расчётную эксплуатационную массу.



Рис.7. Пример трассы третьего уровня (масштабирование в основном по грузоподъёмности, позволяет обеспечить грузоподъёмность до 165 кг на единичную левитирующую опору, что, при наличии финансирования будет масштабировано до четырёхопорной платформы с проектной грузоподъёмностью уже более чем 600 кг).

Исходя из имеющихся на сегодня вариантов оснащения экспериментальной базы Проекта, протяжённые трассы первого уровня используются для изучения как условий силового взаимодействия трасса - левитер в процессе левитации, так и зависимости динамических характеристик левитационного движения от вариаций его параметров, с тестированием наиболее подходящих и информативных диагностических методик, а короткие трассы второго и следующего уровня, - преимущественно для изучения достижимых параметров стабилизации при различных условиях силового взаимодействия трасса - левитер в процессе левитации и влияния на этот процесс изменения преимущественно статических характеристик рабочего процесса.

Также испытываются и исследуются различные варианты криостатирующих оболочек левитеров и варианты систем криостабилизации необходимых рабочих параметров ВТСП, в том числе и с применением элементов и образцов отечественной микрокриогенной техники.

Смысл названия «Квантово-Гравитационный Транспорт» заключается в реализованном здесь механизме вертикальной и боковой стабилизации движения за счет квантовых эффектов сверхпроводимости и управления движением левитера за счет условно-бесплатной энергии гравитационного поля, например, Земли.

Формируя профиль направляющей трассы в вертикальной плоскости в виде, например, дуги окружности определённого радиуса R, с начальным перепадом высот

дельта Н между её нижней и верхними точками формирующим начальный запас потенциальной энергии гравитационного поля и изменяемого вдоль трассы контролируемым образом, мы можем использовать процессы взаимного рекуперативного перехода потенциальной и кинетической энергий в процессе движения для наиболее энергетически эффективного процесса управления его движением.

При этом наша трасса в первом приближении, представляет собой своеобразный «Квантовый маятник» или скорее даже «Квантовый осциллятор», в котором роль упругой нити подвеса играет ортогональная в каждый момент времени левитации сила вертикальной стабилизации подвеса левитера F_{mag} , а сам процесс левитации может быть в первом приближении описан простыми формулами для математического маятника с затуханием, но, с учетом незначительных вертикальных колебаний левитера за счет конечной жёсткости магнитного взаимодействия и изменения со временем массы криоагента за счет его испарения из криостата, как система совместных колебаний левитера - тела с переменной массой,- в следующем приближении (рис.8);

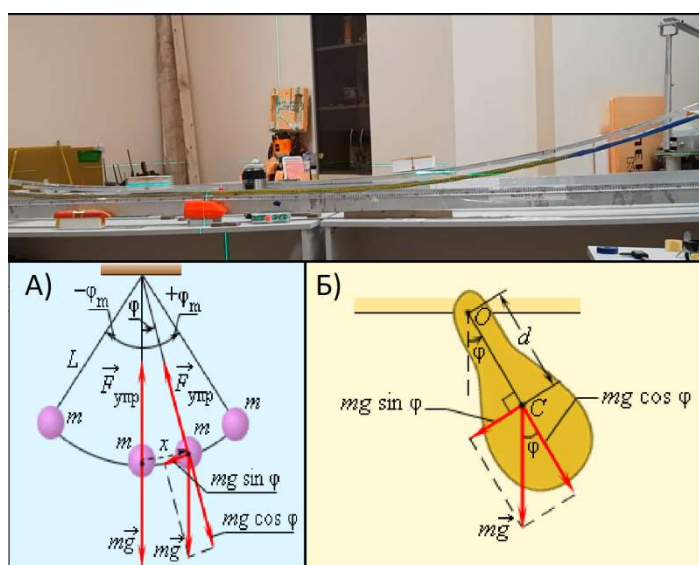


Рис.8. Процесс левитации может быть в первом приближении описан А) Простыми формулами для математического маятника с затуханием, но, с учетом незначительных вертикальных колебаний левитера и изменения со временем массы левитера за счет испарения хладагента из криостата. Б) Формулами для физического маятника который отличается от математического только распределением масс.

При этом практический интерес представляет уникальная экспериментальная информация о зависимости сопротивления такому движению в процессе левитации от широкого спектра изменяемых и контролируемых в процессе экспериментов параметров обуславливающих искомые потери энергии движения и особенно параметров предложенных нами впервые для «маглев – трасс с изменяемой геометрией профиля пути», использующей эти изменения для практического осуществления гравитационного принципа управления процессом левитационного движения.

Для этого на нашей экспериментальной базе были протестированы различные виды систем диагностики, лучшими из которых оказались бесконтактные оптические, не влияющие на процесс левитации, методы лазерной диагностики с помощью прецизионного лазерного трекера API Radian Pro с точностью измерения трёхмерных координат левитера в процессе движения около ± 10 мкм/м и разрешающей способностью по времени 0,001 сек (рис.9).

Целью работ было изучение возможности определения вариаций траектории перемещения макета квантового гравилета в пространстве с фиксацией координат и времени. Измерения проводились 01.02.2021.

В рамках эксперимента использовались: шестиметровая магнитно - левитационная трасса; левитер на базе блока высокотемпературного сверхпроводника в криостате; лазерный трекер API Radian Pro / Лазерный трекер (totrack (англ.) - следить) - высокотехнологичный измерительный прибор, основанный на принципе слежения за специальным уголковым отражателем с помощью лазерного луча. При попадании лазерного луча, испускаемого прибором, в центр уголкового отражателя, он возвращается обратно в объектив прибора, а далее - на приемный датчик дальномера. С учетом двух углов (точность 0.7") и расстояния вычисляются текущие пространственные координаты отражателя (например X, Y, Z). Координаты можно получать как в статическом режиме, так и в динамике.



Рис.9. Лазерный трекер API Radian Pro и общий вид расстановки прибора во время измерений.

Лазерный трекер API Radian Pro оснащен двумя типами дальнометров: интерферометром (IFM) (точность 0.5 мкм/м) и абсолютным дальнометром (ADM) (точность 10мкм или 1мкм/м – что больше). Их основное отличие состоит в том, что ADM измеряет абсолютное расстояние между отражателем и прибором. IFM в свою очередь измеряет изменение расстояния от некоего базового значения (которое может быть измерено с помощью ADM). Пространственная погрешность прибора составляет ± 5 мкм/м в статическом режиме и ± 10 мкм/м в динамическом режиме.

Также лазерный трекер API Radian Pro оснащен встроенным электронным уровнем, который позволяет получить положение отвесной линии в автоматическом режиме и с точностью 2".

Измерения проводились с одной точки стояния прибора, при этом прибор был расположен таким образом, чтобы ось визирования прибора была направлена вдоль направляющих трассы гравилета. Для измерений на макете гравилета был закреплен отражатель диаметром 12,7мм.

Прибор был настроен таким образом, чтобы фиксировать перемещение макета с частотой 333Гц. В данном режиме прибор фиксирует три координаты отражателя(XYZ), а также фиксируется отметка по времени с точностью до 0.001с.

Данные измерения выполнялись на протяжении примерно 5 минут, за это время было выполнено около 100 000 измерений положения макета, результаты были далее представлены в виде таблиц в формате .csv.

На рис.10 в качестве примера типичных, получаемых только с его помощью экспериментальных данных приведены некоторые фрагменты графиков полученных уникальных характерных зависимостей от времени t амплитуд трёхмерных а) $x=f(t)$. б) $y=f(t)$. в) $z=f(t)$ колебаний левитирующего объекта над линейной трассой произвольной вертикальной конфигурации, позволивших, после соответствующей обработки, впервые

получить уникальную информацию о реальных динамических характеристиках трёхмерного колебательного процесса во время левитации с дополнительными сопротивлениями на трассе, напрямую влияющими на энергетические характеристики, обуславливающие искомые потери энергии в этом процессе.

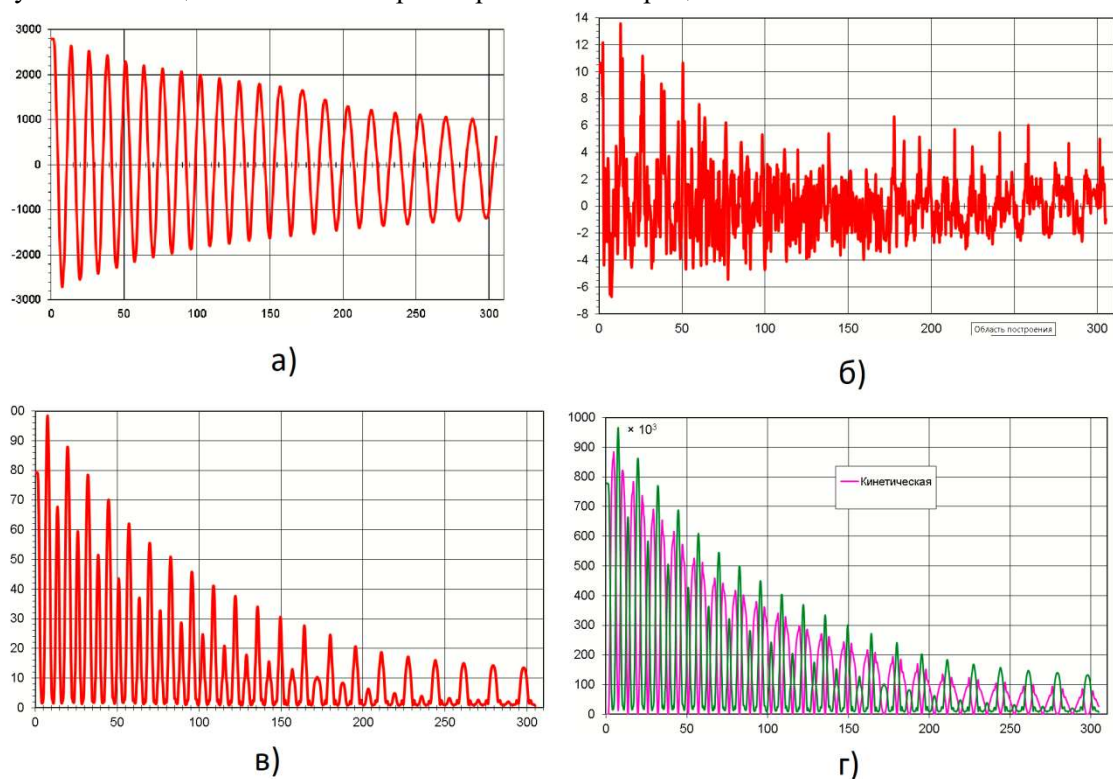


Рис.10. Фрагменты графиков полученных уникальных характерных зависимостей от времени t амплитуд трёхмерных , по а)- $x=f(t)$ б) $-y=f(t)$ в) $-z=f(t)$ и г) Рекуперативный переход кинетической энергии в потенциальную и обратно, с затуханием в процессе левитации.

Также в ИТПМ СО РАН в 2017 г. коллегами 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).

Создан и испытан реально действующий и масштабируемый демонстратор одного из новых и перспективных вариантов простейшей начальной технологии как инерциального атмосферного, так и вакуумного магнито-левитационного транспорта, так называемого «Квантового Гравилёта» (рис.11), для оснащения и развития научно-экспериментальной базы Российского Детского Образовательного Центра «СИРИУС» в г. Сочи. [3].



Рис.11. Вариант трассы «Квантового Гравилёта» в «Сириусе».

Принцип его экологичного и энергоэффективного движения, как уже отмечалось, 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, например, Земли. Предварительные эксперименты показали, что даже при специально созданном дополнительном сопротивлении, – разрыве магнитной трассы, левитер с 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 (рис.12).

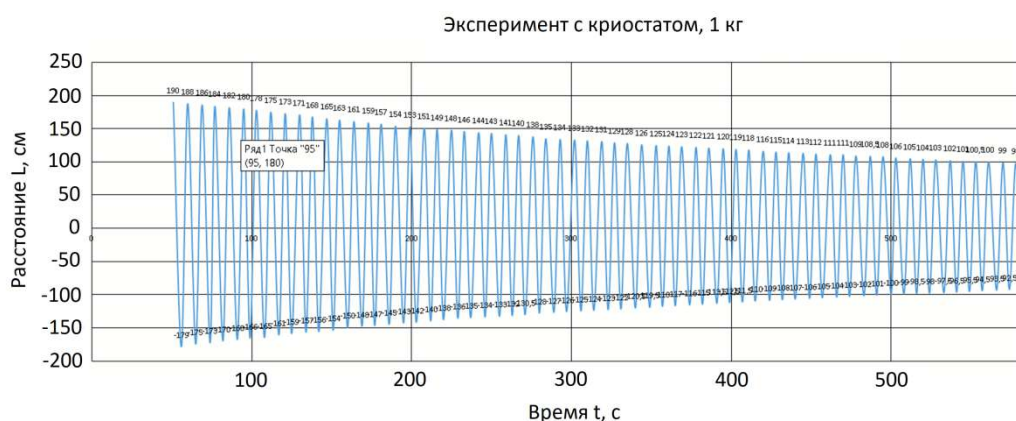


Рис.12. Фрагмент графика характерной зависимости пройденного расстояния L от времени левитации t .

Соответствующая примерная оценка среднеинтегрального сопротивления движению (потерь энергии) в данном варианте взаимодействия трассы и левитера, составит всего: 1 Дж / 4500 с, или примерно 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, оценить соотношение аэродинамических и прочих потерь, что представляет интерес для дальнейшего проектирования и масштабирования следующих поколений и этапов разработок систем ВМЛТ.

Смысл названия «Квантово-Гравитационный Транспорт» заключается в реализованном здесь механизме вертикальной и боковой стабилизации движения за счет квантовых эффектов сверхпроводимости и управления движением левитера за счет условно-бесплатной энергии гравитационного поля, например, Земли.

Формируя профиль направляющей трассы в вертикальной плоскости в виде, например, дуги окружности определённого радиуса R , с начальным перепадом высот ΔH между её нижней и верхними точками формирующим начальный запас потенциальной энергии гравитационного поля и изменяемого вдоль трассы контролируемым образом, мы можем использовать процессы взаимного рекуперативного перехода потенциальной и кинетической энергий в процессе движения для наиболее энергетически эффективного процесса управления его движением.

В настоящее время в Москве, на территориях ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и Школы № 641 им. С. Есенина и в Сочи, на площадке НТУ СИРИУС, при участии специалистов из МАИ [16,17] предпринята успешная попытка создания различных экспериментальных маломасштабных, или, «потешных», макетов вакуумно-магнитного левитационного транспорта (ВМЛТ) на основе редкоземельных магнитов (РЗМ) NdFeB и

вариантов высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) – левитеров на основе керамики Y-Ba-Cu-O [2,3-9, 11.18-20].(рис.13).

Исследуются возможности получения всех необходимых для дальнейшего масштабирования экспериментального стенда на территории ИРЭ количественных экспериментальных данных, по основным критическим технологическим параметрам магнитов.

В рамках создания моделей планируется активно использовать отечественные ВТСП материалы и технологии, в частности на базе ленточных ВТСП компании СуперОкс и объёмных ВТСП блоков отечественного производства с подтверждённой удельной грузоподъёмностью, в зависимости от конфигурации трассы, до 200 кг массы груза на 1 кг левитирующей массы ВТСП, а также впервые предложенных нами гибридных вариантов совместного одновременного использования в конструкции левитеров как блоков из ВТСП лент отечественной компании СуперОкс, так и объёмных ВТСП, также отечественного производства, с соответствующими положительными синергетическими эффектами и сверхпроводниковых ВТСП обмоток – составляющих элементы трассы ВМЛТ, микрокриогенных систем (МКС) криостатирования ВТСП на уровне температур 60-100 К с КПД на уровне 10-12% от цикла Карно и на более низком уровне температур, высокоэффективных систем синхронного линейного привода и рекуперации энергии движения левитера, различных вариантов вакуумных оболочек, что по сути является производственно-технологической отработкой создаваемой модели с возможностью её последующего полупромышленного масштабирования.



Рис.13. Некоторые макеты трасс испытательного стенда ВМЛТ на территории ИРЭ и один из макетов ВМЛТ на входе в вакуумную оболочку.

Планируется создание и исследование подобных конструкций ВМЛТ на основе недавно предложенных нашими коллегами из Санкт-Петербурга [25, 26] конфигураций магнитного поля и устойчивых инновационных вариантов взаимодействия левитеров и трасс из высокоэнергетических постоянных магнитов при «комнатных» температурах окружающей среды, а также предложенных, созданных, исследованных и экспериментально подтверждённых нами более устойчивых конфигураций взаимодействия трасса-левитер с нижним расположением центра масс ниже точек опоры, повышающих устойчивость движения.

На рис. 14 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 которой первая магнитная система неподвижно закреплена на транспортном средстве, а вторая магнитная система закреплена на дорожном полотне. [25]

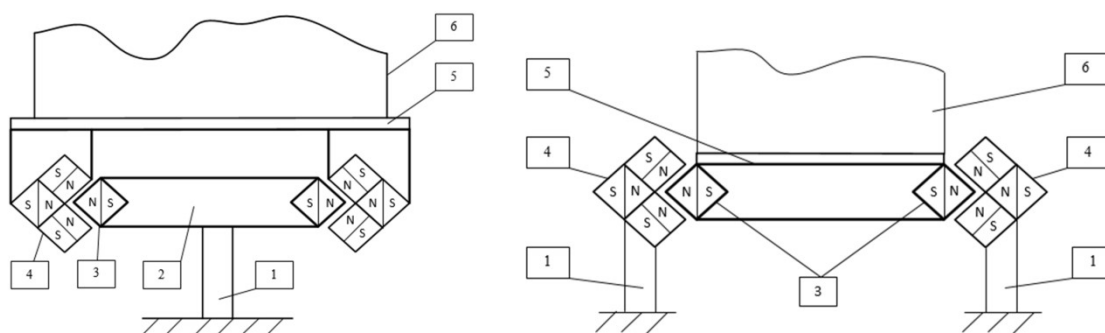


Рис. 14. 1 – опорная часть путевой структуры, 2 – путевая структура, 3 – первая магнитная система, 4 – вторая магнитная система, 5 – опорная платформа, 6 – кузов транспортного средства.

Была также предложена комбинированная магнитная система подвеса (рис.15,16), в которой наряду с ЭМ используются ПМ (или/и СП-магниты). ПМ и СП-магниты обеспечивают основную грузонесущую функцию. Далее такие магниты будут называться опорными магнитами (ОМ). На первом этапе рассмотрены ОМ на базе ПМ (ОМ–ПМ). [26]

В этом случае основная функция нормально проводящих ЭМ состоит в поддержании устойчивой левитации. Эти электромагниты далее будут называться управляющими магнитами (УЭМ). Очевидно, что затраты на энергопотребление комбинированной системы подвеса будут значительно меньше, чем аналогичной по грузоподъемности системы EMS, использующей только ЭМ.

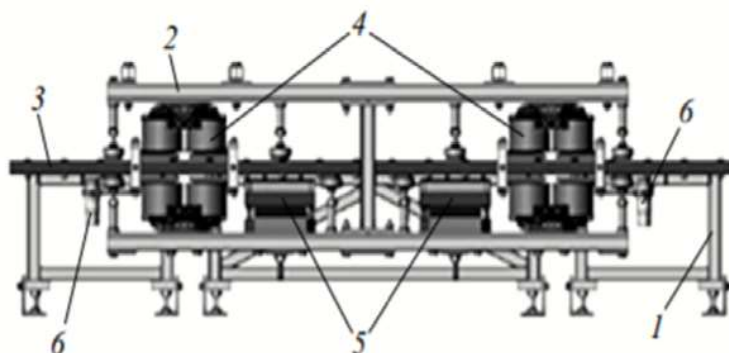


Рис. 15. Путевая структура и левитирующий модуль с установленными магнитами: 1 – путевая структура, 2 – левитирующий модуль, 3 – ферромагнитные направляющие, 4 – ЭМ, 5 – ОМ с ПМ, 6 – датчик измерения зазора.

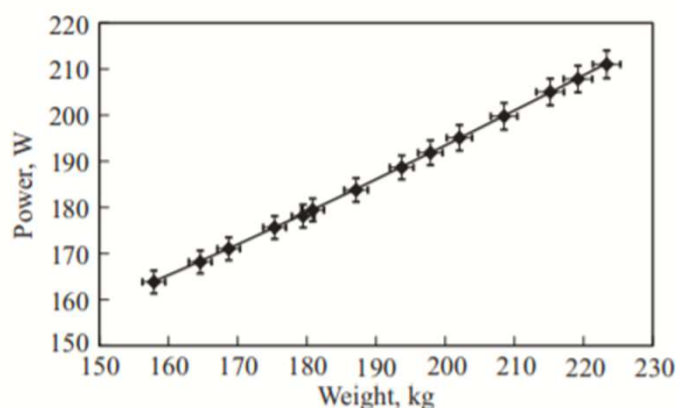


Рис. 16. Зависимость мощности затрат от веса левитирующего модуля макета.

Электромагнитный подвес (EMS) использует принцип активной магнитной опоры, который реализуется путем установки на транспортном средстве магнитов, испытывающих притяжение к ферромагнитным направляющим (рельсам).

Для стабилизации подвеса используется активная система управления, которая регулирует величину магнитной индукции в левитационном зазоре, и, следовательно, силу притяжения магнитов. EMS используется как в статических режимах (погрузка, разгрузка, остановка), так и в режиме движения со скоростями менее 400–450 км/ч, при которых EMS характеризуется сравнительно высокой (по сравнению с EDS) энергоэффективностью.

В рамках концепции EMS рассматривается магнитная система в виде комбинации источников поля:

- нормально проводящих ЭМ с активным управлением;
- постоянных магнитов для компенсации весовых нагрузок;
- сверхпроводниковых ЭМ с “медленным” изменением тока (компенсация поворотов, предварительная компенсация изменения веса при погрузке с возможным режимом перехода на использование ПМ).

Несмотря на то, что комбинированной левитационной системе присуща нелинейная зависимость подъемной и тормозящей составляющих сил от величин токов в магнитах, в том числе за счет наличия ферромагнитных элементов из электротехнических и конструкционных сталей и соответствующие потери энергии, подобные системы могут рассматриваться как элементы ТС «конечной мили» в средне и низкоскоростных маглев ответвлениях магистральной ИГТС.

Центральным моментом проведенных исследований является получение экспериментальных данных и верификация имеющихся многочисленных расчётно-теоретических моделей предсказания и учёта энергетических потерь в различных исследуемых системах левитационного движения и, соответственно, их энергетической эффективности, выполненных в основном для условий не линейного, а кругового движения левитера [12-14].

Экспериментальные результаты для наиболее репрезентативного для используемых нами полевых конфигураций систем АМЛТ и ВМЛТ случая линейного перемещения в открытом доступе практически отсутствуют.

Для решения, в основном, именно этой задачи нами и была создана описанная выше уникальная, хоть пока и малогабаритная или «потешная», экспериментальная база, позволяющая получать столь необходимую для масштабирования проектов экспериментальную информацию, где нами впервые была успешно исследована и подтверждена применимость для исследования подобных линейных магнитолевитационных систем бесконтактной прецизионной системы диагностики динамических параметров движения на базе лазерного трекара API Radian,

позволившего нам получить уникальную экспериментальную информацию о параметрах движения практически в режиме реального времени, с разрешением 0, 001 сек и точностью измерения динамических режимов 10 мкм/ м, по всем трем интересующим нас осям одновременно.

Координатно-измерительная система на базе лазерного трекера API Radian измеряет горизонтальный и вертикальный угол относительно своего положения в пространстве, а также дистанцию до центра отражателя.

На рис. 17 представлена принципиальная схема определения координат отражателя (X_0, Y_0, Z_0) по результатам замеров горизонтального (H_z) и вертикального (V) углов и расстояния (D) с помощью лазерного трекера.

В данном случае определяются координаты отражателя в полярной системе координат трекера, с началом системы координат в точке пересечения осей вращения прибора вокруг своей вертикальной оси и оси вращения подвижной головки.

После выполнения измерений на 3 и более контрольные точки объекта с известными координатами, все остальные измерения могут быть пересчитаны уже в системе координат объекта или предыдущей стоянки прибора.

Для более наглядного представления результатов измерений перемещения гравилета были выполнены дополнительные построения. Для каждой серии измерений была построена система координат: по набору измеренных точек (координаты X, Y, Z положения отражателя лазерного трекера) была построена средняя плоскость, ось Y была направлена по нормали к этой плоскости; ось X направлена вдоль средней линии, построенной по точкам и спроецированной на среднюю плоскость; ось Z дополняет систему до правой. Начало системы координат определено как пересечение перпендикуляра, проведенного через геометрический центр средней плоскости и линии, параллельной оси X , проведенной через точки с минимальной координатой Z .

Это позволило нам, в том числе, получить впервые уникальные экспериментальные данные о взаимной зависимости характерных для этого варианта движения совместных связанных по различным осям спектров колебаний и степени влияния на них различных исследуемых параметров движения.

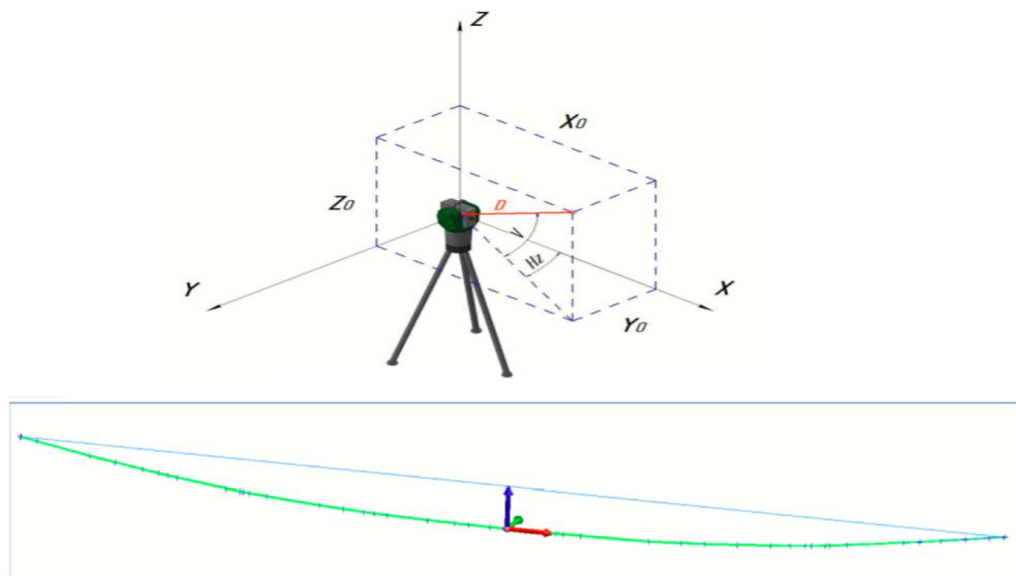


Рис. 17. Построенная система координат для перемещения ГТ и принципиальная схема определения координат отражателя в пространстве:

$X_0 = D * \cos(H_z), Y_0 = D * \sin(H_z), Z_0 = D * \cos(V)$, где V – значение вертикального угла, H_z – значение горизонтального угла, а D – показания дальномера.

Планируется дальнейшее проведение целых серий подобных экспериментов и выработка на основе анализа их результатов ценных рекомендаций, столь необходимых для дальнейшего исследования и проектирования различных систем именно линейного магнитолевитационного движения.

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.

Проведение оценок и ранжирования транспортных систем и технологий по приведенным критериям, энергетической эффективности позволит более адекватно создавать оптимальные конфигурации ИТС и определять оптимальные границы функционирования её отдельных составляющих, организуя наиболее выгодное их сочетание для каждого конкретного случая.

При этом 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 только традиционных вариантов транспортных систем эта проблема не решаема.

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

Экспериментально подтверждена возможность масштабирования пилотных проектов ВМЛТ на базе результатов исследований, проведенных на предварительных миниатюрных «потешных» макетах (рис. 5,9,11-13) до демо-трассы следующего уровня, с потенциальной грузоподъемностью одной платформы более 600 кг, что соответствует оптимальному, теоретически обоснованному весу полноценной единичной левитирующей капсулы ВМЛТ и уже 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.

ВЫВОДЫ

Геополитика и геоэкономика тесно связаны и неотрывны друг от друга. Политика должна быть направлена на обеспечение возможностей быстрого и эффективного развития экономики, а успехи в экономике открывают новые возможности для проведения руководством страны взаимовыгодных для населения и руководства своей и зарубежных стран внутренней и внешней политики.

Современные критерии сравнения различных видов транспорта и вариантов транспортных систем нуждаются в доработке в плане создания в большей степени научно-обоснованных подходов и уменьшения степени субъективности - направленности на удовлетворение нужд страны в целом, а не индивидуальных амбиций отдельных руководителей.

Тем не менее, можно дать приближённый прогноз основных направлений транспорта. Развитие науки и технологий позволят осуществить глубокую модернизацию традиционных транспортных систем, цифровизация и ИИ будет брать на себя всё больше задач управления, как отдельными транспортными единицами, так и системами в целом, оставляя человеку в основном функцию контроля за их работой. Постепенно будет расширяться использование новых видов транспорта. Наиболее реальным для реализации в России является магнитно-левитационный транспорт. Он уже внедрён в ряде стран и

успешно эксплуатируется. Особенно актуален для России ВМЛТ (вакуумный магнитно-левитационный транспорт), так как большие расстояния и сложные погодные условия России требуют наличия быстрого и изолированного от внешней среды вида транспорта.

Пока в мире не накоплен достаточный опыт в данной области наличие национальных разработок даёт России шанс вырваться в лидеры направления (рис.1-19).

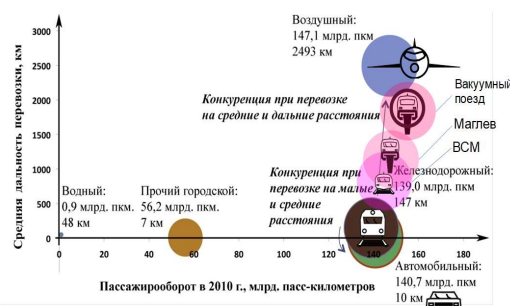


Рис. 18. Межвидовая конкуренция и ниша для новых видов транспорта (маглев и ВМЛТ)[23].

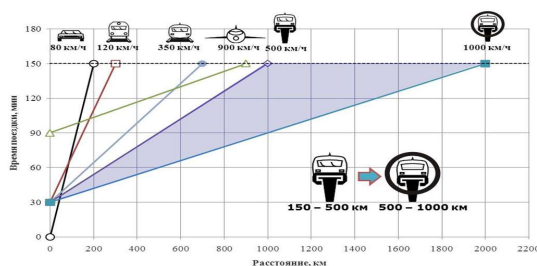


Рис. 19. Рациональные сферы применения ВМЛТ. Слева направо: 1 – личный автомобиль; 2 – скорый рельсовый наземный транспорт; 3 – высокоскоростной рельсовый транспорт; 4 – авиация; 5 – маглев; 6 – ВМЛТ [24].

Также уже начали реализовываться различные варианты беспилотных систем транспорта. Не только во всём мире, но и в России проводятся исследования и уже начата пробная эксплуатация авто, ж/д и авиа беспилотных систем. Прогресс в области развития ИИ позволяет надеяться, что в ближайшие 3-5 лет значительная часть (десятки процентов) транспортных средств станет беспилотными, что ещё на шаг приближает нас к разработке и внедрению новых видов транспорта, таких как МЛТ, ГТ и ВМЛТ.

Ожидается также второй расцвет дирижаблей, основанный на использовании ЛДИС и дронов сопровождения, что должно снять основную проблему безопасности их эксплуатации – зависимость от неожиданных порывов (которые станет возможно надёжно прогнозировать).

При условии сохранения интереса к развитию Севера России и судоходства в Северном Ледовитом океане, вполне вероятно развитие подводного (под толщей льда) судоходства. Оно позволит обеспечить круглогодичное снабжение северных регионов морским путём и, в перспективе, введение в эксплуатацию северной ветви нового «Шёлкового пути».

Повышение значимости исследований и использования космического пространства должно в недалёкой перспективе привести к созданию внеатмосферных транспортных средств, движущихся с гиперзвуковыми, субкосмическими и космическими скоростями.

Возможно, будут придуманы и новые способы использования других физических эффектов для решения транспортных задач или разработаны новые технологии для использования в транспортных целях. Важно создавать в России возможности для

развития как традиционных, так и новых видов транспорта, формировать согласованные транспортные системы для удовлетворения нужд экономики. Сложные политические, экономические и социальные условия, которые характеризуют сегодняшнее состояние России – это не первый раз в её истории. Но, как правило, именно потребности в решении тяжёлых проблем давали толчок развитию России. Произойдёт ли ускорение транспортного развития в текущей ситуации зависит от всех: руководителей страны и транспортной отрасли, учёных, технологов, инженеров, рядовых работников транспорта и интереса населения всей страны к развитию транспортных проектов.

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.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех», собственных средств участников в рамках научного проекта № 20-37-51005.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Global sustainable development report 2019 drafted by the Group of independent scientists. https://bios.fi/bios-governance_of_economic_transition.pdf
3. 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>
4. Дроздов Б.В. О перспективном облике глобальной транспортной системы // Культура. Народ. Экосфера/ Труды социокультурного семинара имени Бугровского. Выпуск 10. – М.: Спутник+, 2017.
5. Дроздов Б.В., Терентьев Ю.А. Перспективы вакуумного магнитолевитационного транспорта // Мир транспорта. 2017. Т.15, №1, с.90-99.
6. 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.
7. 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.
8. Lyovin V.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.
9. Terentyev Yu.A., Filimonov V.V. et al. Russia integrated transit transport system (ITTS) basid on vacuum magnetic levitation transport (VMLT). Transportaion Systems and Technology. 2018; 4 (3 suppl. 1): 57-84.
10. Островская Г.В. Магнитные дороги профессора Вейнберга (К 100-летию лекции «Движение без трения»). Вестник науки Сибири. 2014, №2(12).
11. ET3 online education // The website of the Evacuated Tube Transport Technology. <http://et3.eu/et3-online-education.html>

12. Bernstein P., Noudem J. Superconducting magnetic levitation: principle, materials, physics and models. *Superconductor Science and Technology*. 2020. V.33. №3. P.033001. <http://doi.org/10.1088/1361-6668/ab63bd>
13. Deng Z., Zhang W. et al. High-temperature superconducting maglev-evacuated tube transport (HTS Maglev-ETT) Test System. *IEEE Trans. Appl. Supercond.* 2017, 27(6), 3602008.
14. Sun R.X., Zheng J. et al. // *Int. J. Mod. Phys. B*. 2017, 31, 1745014.
15. Ковалёв Л.К., Ковалёв К.Л. и др. Магнитные подвесы с использованием объёмных ВТСП элементов // *Труды МАИ*, 2010, Вып. №38.
16. Ковалёв Л.К., Конеев С.М. и др. Электрические машины и устройства на основе массивных высокотемпературных сверхпроводников. – М.: Физматлит, 2010. – 396 с.
17. 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.
18. Фомин В.М., Звезгинцев В.И. и др. Вакуумный магнитолевитационный транспорт: поиск оптимальных рабочих параметров // *Транспортные системы и технологии*. 2016, вып.(3), 5. <https://transssyst.ru/transssyst/article/view/7626/6123>
19. 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>
20. Магнитолевитационная транспортная технология / Под ред. В.А.Гапановича. – М.: Физматлит, 2014. – 476 с.
21. Магнитолевитационный транспорт: научные проблемы и технические решения / Под ред. Ю.Ф. Антонова, А.А. Зайцева. – М.: Физматлит, 2015. – 612 с.
22. Зайцев А.А., Морозова Е.И. и др. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны. – СПб.: НП-Принт, 2015. – 140 с.
23. С.Б. Нестеров, И.А. Воробьёв, Р.О. Кондратенко. Вакуумный поезд: поиск ниши на рынке перевозок пассажиров / *МИР ТРАНСПОРТА, том 15, № 3, С. 112–121 (2017)*
24. 24 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.
25. Патент РФ на изобретение № 2019125403/ 09.08.2019. Бюл. №17. Зименкова Т.С., Казначеев С.А., Краснов А.С. Магнитолевитационное транспортное средство.
26. Журнал технической физики, 2019, том 89, вып. 7 15 Комбинированные электромагнитные подвесы с пониженным энергопотреблением для левитационного транспорта © Е.Н. Андреев,1 Д.Н. Арсланова,1 Е.В. Ахметзянова,1 А.М. Базаров,1 В.Н. Васильев,1 О.С. Васильева,1 М.С. Верхотуров,2 Е.И. Гапионок,1 А.А. Дёмина,1 С.В. Завадский,2 М.Ю. Зенкевич,3 М.В. Капаркова,1 В.Д. Кузьменков,1 А.Н. Лабусов,1 М.С. Ларионов,1 М.В. Манзук,1 А.В. Мизинцев,4 А.Н. Неженцев,1 Д.А. Овсянников,2 А.Д. Овсянников,2 М.В. Хохлов 1 1 Акционерное общество ” НИИЭФА им. Д.В. Ефремова“, 196641 Санкт-Петербург, Россия 2 Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Санкт-Петербург, Россия 3 Академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва, 199034 Санкт-Петербург, Россия 4 ООО ” НИИЭФА-ЭНЕРГО“, 196641 Санкт-Петербург, Россия e-mail: sytch@sintez.niiefa.spb.su Поступило в Редакцию 4 декабря 2018 г. В окончательной редакции 4 декабря 2018 г. Принято к публикации 21 декабря 2018 г.