

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.11.5>

УДК: 2.11.02.13.0714

РАЗГОН, ТОРМОЖЕНИЕ И РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

Д.А. Карпухин^{1,2}, А.О. Петров^{1,2}, В.В. Коледов^{1,2}, А.С. Бугаев¹, Д.А. Суслов^{1,2},
В.Г. Шавров¹, Ю.А. Терентьев^{1,2}, С.В. Фонгратовски^{1,2}, А.П. Каманцев^{1,2},
В.С. Ларюхин^{2,3}, А.В. Бабачанак^{2,4}, В.К. Балабанов^{2,4}, С.Г. Ясев¹,

¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
125009, Москва, ул. Моховая, 11, корп.7

² Научно-технический университет Сириус, 354340, Сочи, Олимпийский проспект, 1

³ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5

⁴ РУТ (МИИТ), 127994, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

Статья поступила в редакцию 23 октября 2022 г.

Аннотация. Изучение и внедрение инновационных систем экологически чистого и энергетически экономичного транспорта на основе магнитной левитации (МЛТ), принцип работы которой основан на применении новых твердотельных магнитных материалов, включая соединения редкоземельных материалов, весьма актуально в связи возрастанием логистических проблем в масштабах России и Евразии. В данной работе затронуты следующие аспекты: разработка теоретической модели расчета магнитолевитационного подвеса трассы МЛТ на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) и редкоземельных постоянных магнитов (РЗПМ); конструирование и изготовление макетов трассы МЛТ в вакууме (ВМЛТ) и в атмосфере (АМЛТ). Экспериментальное изучение силовых характеристик вертикальной и латеральной (боковой) устойчивости движения МЛТ на трассе. Конструкторские разработки по созданию модели микрокриогенной каскадной системы охлаждения для последующего конструирования систем МЛТ без расходования сжиженных газов; разработка программно-аппаратного комплекса для

управления процессом движением макета ВМЛТ и АМЛТ, в том числе с применением гравитационного и электромагнитного принципов разгона и торможения; экспериментальное исследование скорости, устойчивости и энергетической эффективности движения макета в режимах ВМЛТ и АМЛТ; разработка принципов процесса рекуперации энергии при разгоне и торможении макета ВМЛТ; прогнозирование основных параметров перспективной линии МЛТ на основе принципов масштабирования, выработанных в результате обобщения исследований макетов МЛТ.

Ключевые слова: магнитолевитационный транспорт, ВТСП, YBaCuO, сверхпроводимость второго рода, NdFeB, гравитационный разгон и торможение, рекуперация энергии.

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

Автор для переписки: Карпухин Денис Александрович, interceptor1986@mail.ru

Введение

Современные технологии, даже аэрокосмические, не претендуют на решение прорывной и весьма актуальной задачи – создания экономичных и широкодоступных средств перевозки пассажиров и грузов со скоростью выше скорости звука из-за очень высокого расхода топлива. Кроме того, воздушный транспорт недостаточно экологичен. Во всем мире проблема создания надежных, сверхскоростных, экологичных и экономичных транспортных систем на основе магнитной левитации (МЛТ) признается весьма перспективной, но пока находится в начальной стадии [1]. Особые надежды возлагаются на новые материалы, в частности высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) [2]. Необычайно привлекательной кажется идея применения магнитной левитации сверхпроводников для создания экологичных, бесшумных, не загрязняющих окружающую среду и сверхэкономичных локальных внутригородских

магнитолевитационных транспортных линий в атмосфере (АМЛТ) [3, 4]. Заслуживают особого внимания работы по исследованию магнитной левитации в вакууме (ВМЛТ), так как в вакууме снимаются ограничения по аэродинамическому трению и становится возможной сверхзвуковая транспортировка грузов и пассажиров с одновременным снижением расходов [5-7]. Особенно актуальна эта задача для современной России и Евразии в целом, в силу огромных размеров и огромного значения транспортных перевозок по суше с максимальной скоростью и с минимальными затратами энергетических и других ресурсов [1, 8]. Большой интерес вызывает идея применения для МЛТ инновационных высокоэффективных методов магнитного охлаждения [9, 10]. Однако, не смотря на огромный интерес, решение этих прорывных задач порождает множество технологических и фундаментальных проблем и весьма далеко от завершения.

Цель настоящей работы заключается в создании малоразмерных макетов АМЛТ и ВМЛТ и экспериментальное решение ряда технологических и научно-технических задач: (1) разработка конструкции трасс МЛТ на основе редкоземельных постоянных магнитов (РЗПМ) и макетов МЛТ на основе криостатов с элементами из ВТСП; (2) изучение физических процессов и динамики полета МЛТ, как в атмосфере, так и в вакууме; (3) создание систем разгона, торможения и управления движением, как при электромагнитном, так и при гравитационном принципе разгона и торможения; (4) изучение возможности создания компактных систем криостатирования на основе миниатюрных рефрижераторов для поддержания необходимой температуры элементов ВТСП без расхода сжиженных газов.

1. Трассы МЛТ на основе РЗПМ и ВТСП

В работе принята единая конструкция макетов трасс МЛТ для изучения силовых характеристик и движения макета МЛТ с различными геометрическими параметрами. Сечение трассы на основе РЗПМ показано на рис. 1а.

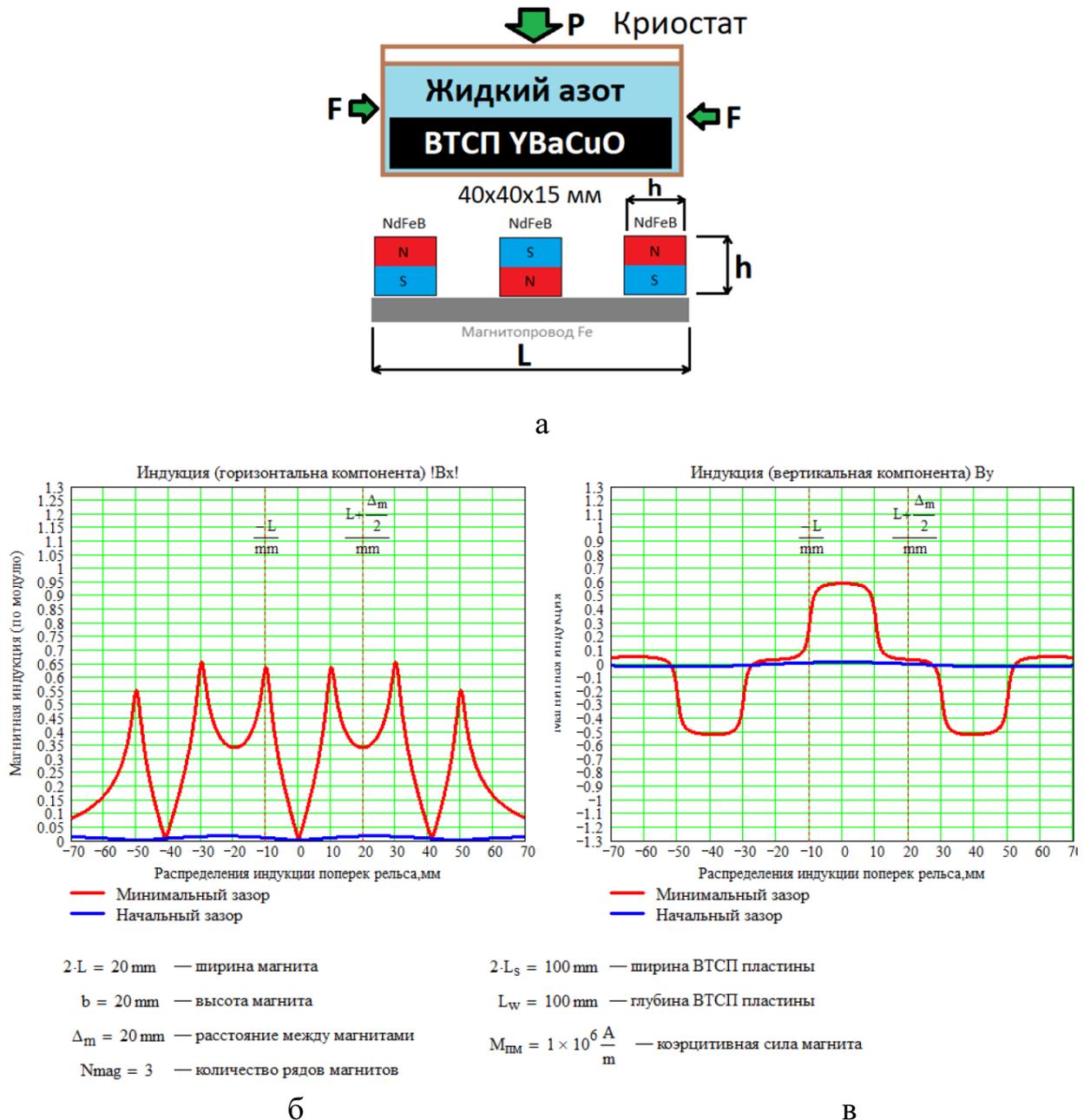


Рис. 1. Конструкция трассы МЛТ на основе РЗПМ и МЛТ. (а) Схематический разрез трассы: Р – вертикальная сила, F – боковая сила магнитной левитации ВТСП. Образец расчета сечения распределения магнитного поля вблизи трассы МЛТ с параметрами РЗПМ 20x20x50 мм: (б) продольная и (в) поперечная компонента магнитного поля

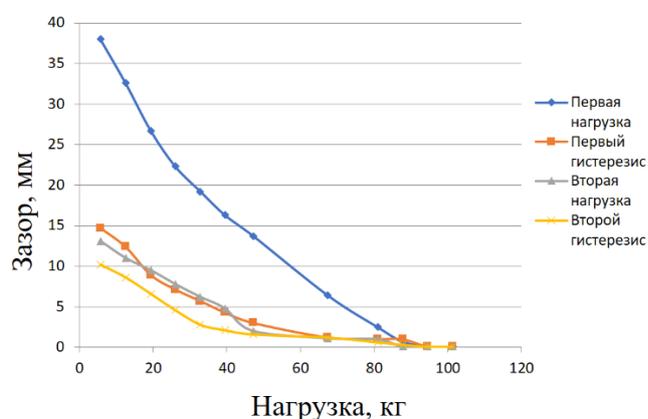
Квадратные в сечении, со стороной h, постоянные магниты из NdFeB располагались на магнитомягкой полосе стали шириной L в виде трех длинных

линеек с различным направлением намагниченности в соседних линейках. Для устойчивости движения и повышения грузоподъемности две полосы могли соединяться в двухполосную трассу. В экспериментах по изучению силовых характеристик: вертикальной силы P и боковой силы F , проводилась серия измерений зависимости величины зазора от дна криостата, в котором располагались элементы из ВТСП, до поверхности магнитов в зависимости от нагрузки и от начальной высоты захолаживания (см. рис. 2).

Как видно из графика на рис. 2б, на котором показаны графики измерения величины зазора от P для трассы шириной 250 мм с сечением постоянных магнитов 50x30 мм, наблюдается монотонное снижение зазора и гистерезисные эффекты. В криостате помещались 36 элементов ВТСП с размерами 40x40x10 мм. В различных сериях измерений, следующих одна за другой, можно заметить гистерезис зависимости. В первой серии экспериментов по нагружению макета МЛТ, зазор после снятия максимальной нагрузки не восстанавливается полностью. Однако, начиная со второй серии нагружений зазор стабилен.



а



б

Рис. 2. Измерение силовых характеристик трасс МЛТ. (а) Процесс захолаживания криостата с элементами ВТСП жидким азотом над трассой с заданным зазором. (б) график зависимости вертикальной силы от начального зазора захолаживания

Результаты измерений по данному протоколу для различных изготовленных трасс сведены в Таблицу 1 и проиллюстрированы на рис. 3. Они позволяют составить общую картину и сравнить расчет с экспериментом. Вся совокупность данных позволяет составить приближенное представление о

законах масштабирования трасс, т.е. о характере зависимости силовых характеристик грузоподъемности и боковой устойчивости движения от геометрии трасс и количества элементов ВТСП в криостатах. Максимальная измеренная в экспериментах величина нагрузки $P = 1980$ Н наблюдалась при испытаниях двухполосной трассы 2×100 мм с размером магнитов $20 \times 20 \times 50$ мм и двумя криостатами по 18 элементов ВТСП каждом.

Таблица 1. Результаты измерения максимальной боковой и вертикальной силы на различных трассах МЛТ в зависимости от размеров трассы

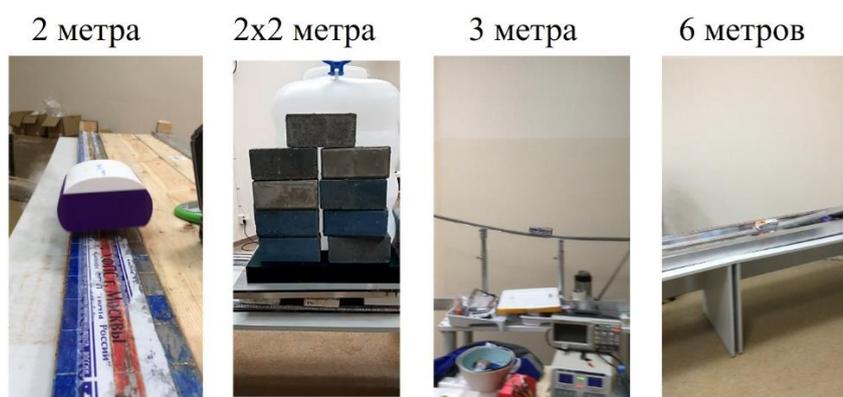
Длина трассы, м.	Количество элементов ВТСП, шт.	h, мм	L, мм	P, Н	F, Н
3	3	10	50	60	30
6	3	10	50	60	30
2	6	20	100	600	80
2x2	36	20	100x2	1980	500
1	лента	25	250	1420	900

2. Динамические испытания трасс МЛТ в атмосфере и в вакууме

Динамические испытания движения по трассам МЛТ в вакууме и в атмосфере проводились в условиях гравитационного разгона и торможения на трассах переменного профиля (см. [11, 12] и рис. 3). Цель – в прямом эксперименте изучить устойчивость движения со скоростью, которая определяется профилем трасс и сравнить аэродинамические силы сопротивления движению макета МЛТ и электромагнитные силы сопротивления движению, тормозящие криостат в вакууме (о гравитационном принципе разгона и торможения, подробно, см [11, 12]).

Пример трассы с переменным профилем и гравитационным принципом разгона и торможения показан на рис. 3б. В ходе эксперимента на видеокамеру фиксировалось положение криостата в зависимости от времени и по этим

данным восстанавливался график, типичный пример которого, показан на рис. 4б. На нем виден, приблизительно, экспоненциальный спад амплитуды колебаний. Для изучения причин потерь энергии при движении и разделении вкладов в трение аэродинамической и электромагнитной природы применялась установка (см. рис. 4а), в которой движение осуществлялось по трассе длиной 2 м, с перепадом по высоте между стартовым (конечным) участком и крейсерским (в центре двухметровой трассы), – 5 см.



а

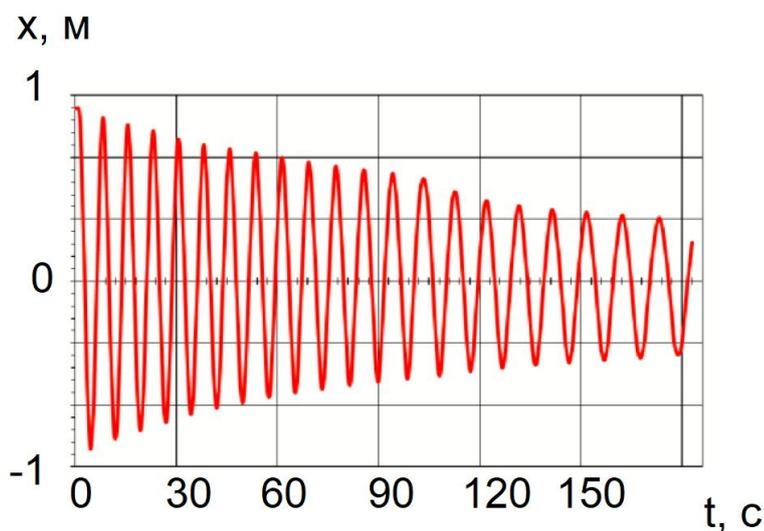


б

Рис. 3. Макеты трасс с различными размерами в процессе силовых и динамических испытаний. (а) четыре макета трасс для масштабных экспериментов. (б) измерение динамических характеристик полета в условиях гравитационного разгона и торможения с перепадом высоты по вертикали 1 м (максимальная скорость в центре трассы – 15,6 км/час) на 6 метровой трассе шириной 50 мм



а



б

Рис. 4. Исследование динамических характеристик движения макета МЛТ. (а) установка для исследования потерь движения МЛТ в зависимости от давления атмосферы с вакуумной камерой длиной 2 м. (б) типичный график зависимости координаты макета от времени при нормальном давлении атмосферы

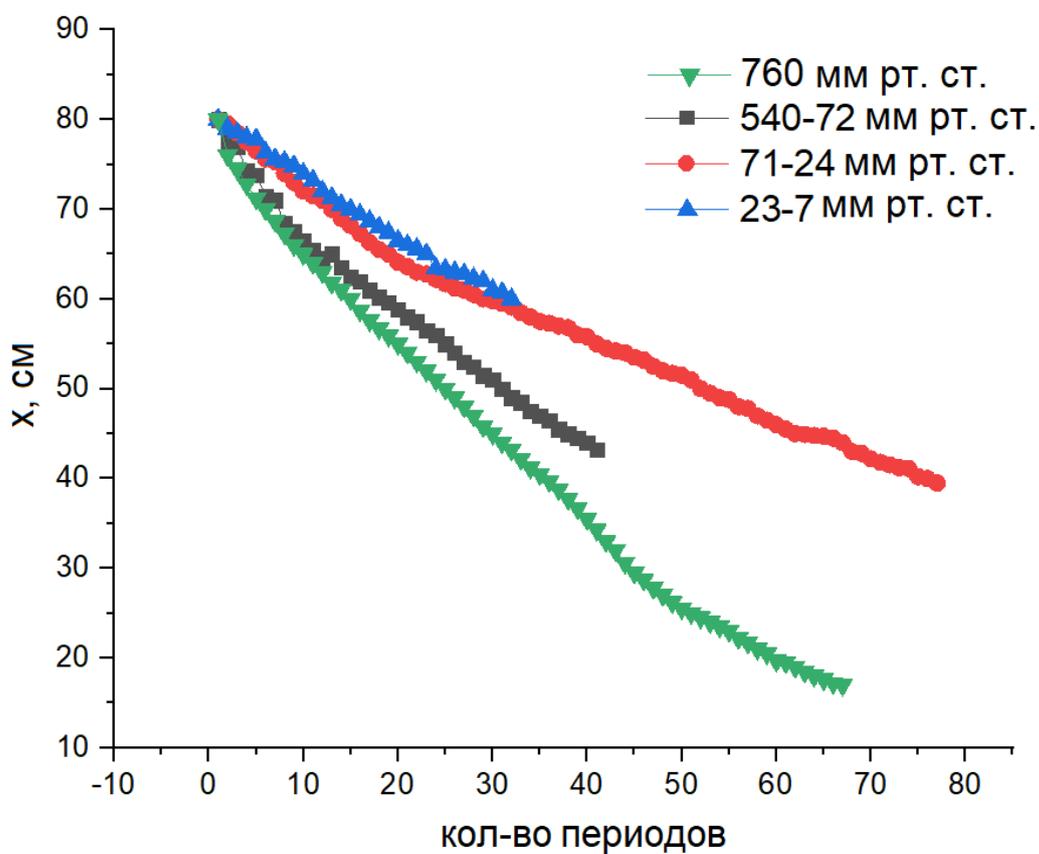


Рис. 5. График зависимости амплитуды колебаний макета МЛТ от количества периодов при различных давлениях в вакуумной камере

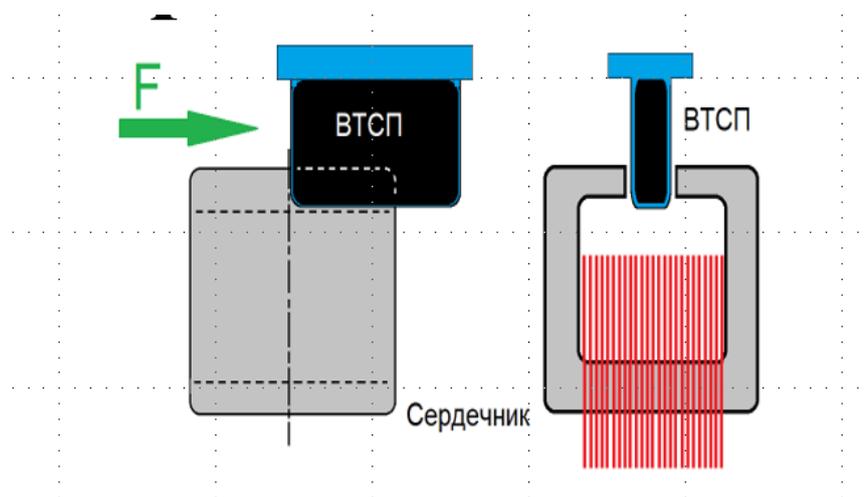
Скорость движения макета МЛТ в центре трассы – примерно 1 м/с, а период – 8 сек. На рис. 5 показаны графики, отражающие изменение амплитуды макета от номера периода, при движении в атмосфере с нормальным давлением (зеленая кривая) и с уменьшающимся давлением в процессе непрерывной откачки (черная, красная, синяя кривые).

Анализ графиков на рис. 5 дает, что при переходе от атмосферного давления к давлениям $<0,1$ атм. в камере установки затухание колебаний снижается, примерно в 2,5 раза. Таким образом, наблюдается смена режимов потерь, от потерь, обусловленных аэродинамическими силами, к режиму электромагнитных потерь. Дальнейшие исследования покажут, насколько сильна зависимость электромагнитных потерь от скорости движения, размеров элементов ВТСП, реальных неоднородностей трассы из РЗПМ и др.

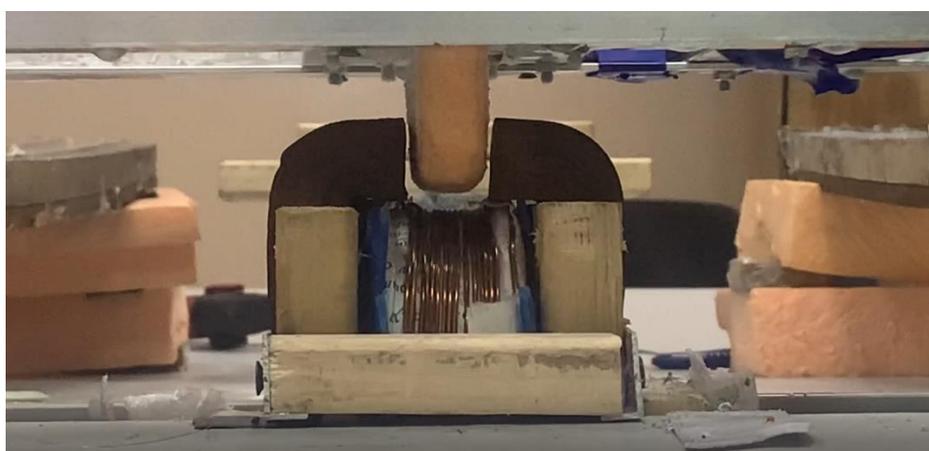
В работе [6] обсуждаются эксперименты по измерению относительных вкладов аэродинамических сил трения и сил электромагнитной природы в торможение макета ВМЛТ, движущегося над трассой из постоянных магнитов. Однако, в этой работе используется замораживание ВТСП в нулевом поле. Таким образом, полученные результаты указывают на возможность прямого измерения потерь различной природы и открывают возможность оптимизации всей конструкции МЛТ в целом.

3. Сверхпроводниковый синхронный линейный двигатель (ССЛД)

Цель экспериментов в этом разделе заключалась в разработке системы разгона и торможения макетов МЛТ на трассе, в том числе, для компенсации потерь в случае движения МЛТ по трассе с переменным профилем и гравитационным разгоном/торможением, а также в исследовании возможности эффективной рекуперации энергии, то есть, возврата электроэнергии в источник, преобразованной из механической в электрическую при торможении МЛТ. Для этой цели предложен сверхпроводниковый синхронный линейный двигатель (ССЛД), схема которого показана на рис. 6.



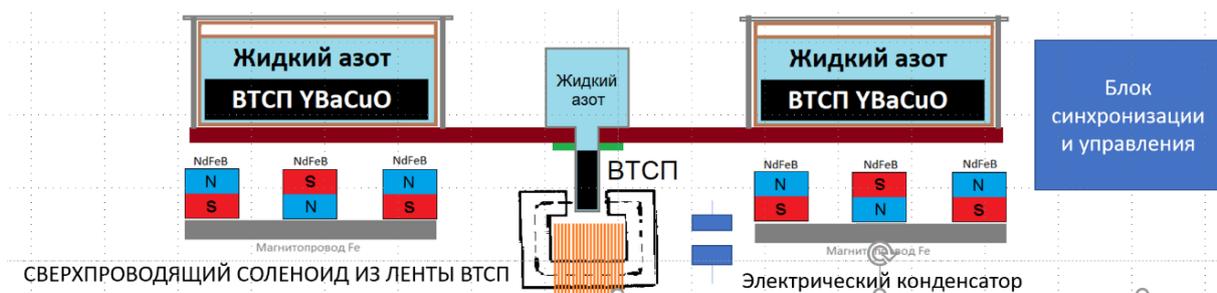
а



б

Рис. 6. Принцип управления движением при помощи ССЛД. (а) Схема расположения криостата со сверхпроводниковым подвижным элементом в зазоре электромагнита и принцип синхронизации импульсов управляющего поля с движением для обеспечения разгона или торможения. (б) внешний вид зазора ССЛД в процессе движения макета МЛТ по трассе

На рис. 7 проиллюстрирована конструкция системы управления движением МЛТ на основе ССЛД. Вся система выполнена на двухполосной трассе из РЗПМ с длиной 2 м и шириной одной полосы 100 мм, размер одного постоянного магнита – 20x20x50 мм. Макет МЛТ состоит из двух криостатов с 6 элементами ВТСП YBaCuO каждый, объединенных общей платформой, как показано на рис. 7б.



а



б

Рис. 7. Испытания сверхпроводящего синхронного линейного двигателя (ССЛД). (а) блок-схема станочки. (б) общий вид двухполосной трассы макета МЛТ с криостатами и ССЛД

ССЛД включает третий криостат меньшего размера с жидким азотом, с установленным в нем небольшим элементом ВТСП и размещенный посередине между двумя силовыми криостатами. Имеется также соленоид, в зазор которого попадает малый криостат при движении макета МЛТ по трассе.

Принцип действия ССЛД проиллюстрирован на рис. 7а. Если малый криостат с ВТСП элементом влетает в зазор соленоида, в котором уже протекает ток и присутствует магнитное поле, то он испытывает торможение. Если поле выключено, а импульс управляющего тока поступает в момент, когда ВТСП элемент уже пересек центр зазора соленоида (см. рис. 7а), то произойдет разгон диамагнитного ВТСП элемента и макета в целом.

В эксперименте синхронизация импульса с движением макета проводилась с помощью оптического датчика, установленного на трассе и полупроводникового лазера, укрепленного на макете. Блок управления включал компьютер и плата ЦАП/АЦП L-CARD 14-440.

Силовым электромагнитным элементом системы является соленоид с сердечником из трансформаторной стали и зазором шириной 20 мм, соответствующей ширине малого криостата (см. на рис. 6б). Катушка соленоида имела индуктивность 0,2 Гн. Для его намотки использовалось два варианта проводников: медный эмалированный провод 1,5 мм и сверхпроводящая лента с рабочим током до 100 А на основе ВТСП YBaCuO отечественного производства. Во втором случае для работы катушки соленоида применялось охлаждение жидким азотом, причем специально изготовленный для этого четвертый криостат располагался посередине между полосами трасс РЗПМ ниже уровня движения макета МЛТ.

Применение сверхпроводящего соленоида необходимо для повышения эффективности рекуперации энергии. Схема эксперимента по исследованию процесса проиллюстрирована на рис. 7. В ходе работы для подачи импульса тока на катушку применяется конденсатор и ключ с электронной схемой для обеспечения синхронизации импульса с движением малого криостата в зазоре. При подаче импульса тока на соленоид, конденсатор перезаряжается. Напряжение на обкладках конденсатора после окончания импульса имеет противоположный знак, но иную величину по модулю. Для случая разгона, величина напряжения после перезарядки конденсатора всегда менее начальной, вследствие неизбежных потерь в цепи и передачи части энергии макету. Для случая торможения – наоборот, напряжение на конденсаторе возрастает, так как часть механической энергии макета преобразуется в энергию электрического заряда конденсатора.

4. Силовая система криостата двигателя МЛТ и рефрижератор на основе микрокриогенной системы Стирлинга

Цель технологических и конструкторских разработок в этом разделе – рассмотреть возможность практической реализации двигателя МЛТ – криостата с ВТСП элементами, удовлетворяющего противоречивым и строгим требованиям: высокая механическая прочность и надежность, низкий теплоприток и возможность совмещения с рефрижераторами, исключающими расход жидкого азота.

Сконструирован и изготовлен силовой криостат для макета МЛТ, содержащий 4 элемента ВТСП с размером 40x40x10 мм (см. фото криостата в собранном и разобранном виде на рис. 8). Для его изготовления применен немагнитный листовой титан толщиной 1 мм и технология лазерной сварки. Испытания показали возможность устойчивой левитации криостата на трассе МЛТ с шириной 50 мм. Время непрерывной работы без дозаправки жидким азотом – 40 мин; теплоприток, по оценкам – 18 Вт.



а



б

Рис. 8. Силовой криостат для макета МЛТ, выполненный из титана по технологии лазерной сварки. (а) криостат в разобранном виде. (б) криостат в собранном виде

Для экспериментов по созданию макетов МЛТ без расхода жидкого азота применен рефрижераторный микромодуль, работающий по замкнутому обратному термогазодинамическому циклу Стирлинга [13]. Достижимая

температура криостатирования – до 50 К. Холодопроизводительность при $T = 80$ К, не менее 750 мВт. Для демонстрации возможности криостатирования ВТСП с помощью микромодулей сверхпроводников изготовлен немагнитный криостат с элементом ВТСП, состыкованный с рефрижератором (см. рис. 9).

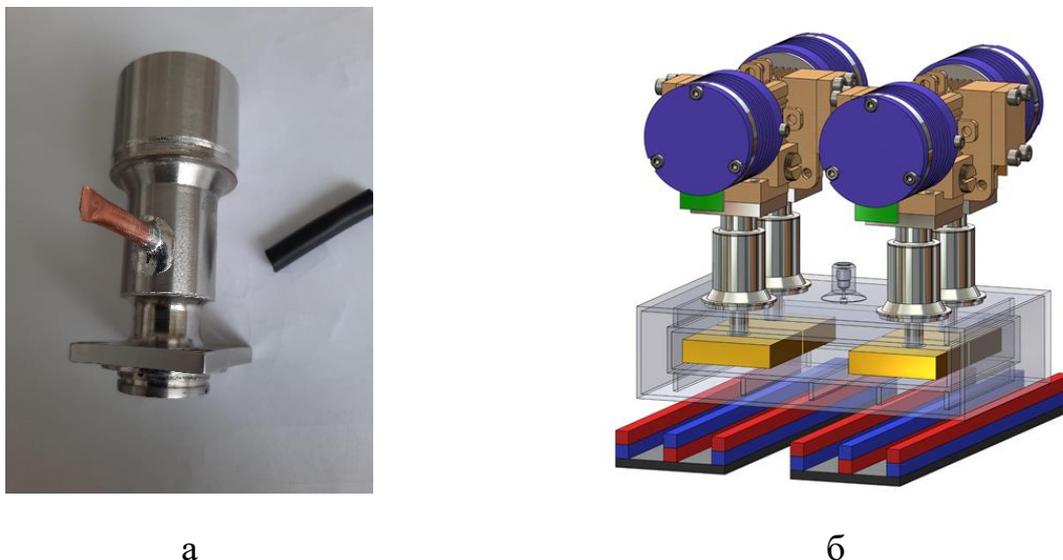


Рис. 9. Рефрижераторный микромодуль, работающий по замкнутому обратному термогазодинамическому циклу Стирлинга для проверки возможности работы МЛТ без расхода жидкого азота. (а) общий вид криомодуля с элементом ВТСП. (б) Проект практического макета МЛТ на основе 4 рефрижераторных микромодулей и вакуумных криостатов

На рис. 9б представлен эскизный проект макета МЛТ, разработанный по результатам настоящей работы, который предназначен для исследования магнитной левитации в атмосфере и в вакууме, без расхода жидкого азота. Для устойчивого движения с системой разгона, торможения и рекуперации энергии макет МЛТ включает 4 рефрижераторных микромодуля и вакуумных криостата с ВТСП. Дальнейшие эксперименты направлены на практическую проверку возможности длительной автономной работы макета МЛТ без расхода сжиженных газов при минимальном расходе электроэнергии.

Заключение

Таким образом, в работе получены следующие основные результаты.

1) Сконструированы и изготовлены шесть макетов трасс МЛТ на основе РЗПМ Nd-Fe-B. Трассы одно и двух полосные, длина от 1 до 12 м. Ширина

магнитомягкой стальной полосы в основании трассы 50, 100 и 250 мм. Сечение постоянных магнитов 10x10, 20x20 и 50x30 мм. При определении силовых характеристик трасс в зависимости от размеров трасс и высоты захолаживания криостата с ВТСП, установлено, что максимальная измеренная сила магнитной левитации для двухполосной трассы с шириной полосы 100 мм и 36 элементами ВТСП YBaCuO – 1980 Н. Результаты расчета распределения магнитного поля и оценки силовых характеристик трасс находятся в удовлетворительном согласии с результатами экспериментов.

2) При исследовании динамических свойств магнитной левитации на макете ВТСП изучено затухание колебаний криостата с ВТСП на трассе с переменным профилем, в зависимости от давления окружающей среды в диапазоне 7 - 760 Торр. Разделены вклады аэродинамического сопротивления и сил электромагнитной природы, действующих на сверхпроводник второго рода при движении макета МЛТ.

3) Предложена новая схема управлением движения макетом МЛТ при помощи сверхпроводникового синхронного линейного двигателя (ССЛД). Разработана автоматизированная система для разгона, торможения и рекуперации энергии макета МЛТ с помощью ССЛД. Продемонстрировано управляемое движение макета МЛТ по трассе с переменным профилем, включая режим компенсации потерь при движении по трассе с переменным профилем в стационарном режиме.

4) Приведены технологические разработки по созданию макета движителя ВМЛТ, включающего силовой криостат, выполненный из титана и макета криогенного рефрижератора на основе микрокриогенной системы Стирлинга с ротационным приводом компрессора и свободным газодинамическим приводом детандера для охлаждения элементов ВТСП макета МЛТ без расхода сжиженных газов.

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

Литература

1. Терентьев Ю.А., Филимонов В.В., Шавров В.Г., Коледов В.В., Фонгратовски С.В., Суслов Д.А., 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. С.25-62. <https://doi.org/10.17816/transsyst20195425-62>
2. 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>
3. U.S. Patent №6418857. Okano Makoto, Noriharu Tamada. *Superconductive magnetic levitation transportation system*. Application Date: 29.09.2000. Publication Date: 16.08.2002. 11 p.
4. Mattos L.S., Rodriguez E., Costa F., Sotelo G.G., De Andrade R., Stephan R.M. MagLev-Cobra operational tests. *IEEE Transactions on applied superconductivity*. 2016. V.26. №3. P.1-4. <https://doi.org/10.1109/TASC.2016.2524473>
5. Salter Robert M. Transplanetary subway systems. *Futures*. 1978. V.10. №5. P.405-416. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(78\)90006-X](https://doi.org/10.1016/0016-3287(78)90006-X)
6. Fernandes J., et al. Superconductor joule losses in the zero-field-cooled maglev vehicle. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2016. V.26. №3. P.1-7. <https://doi.org/10.1109/TASC.2016.2528991>
7. Gieras J.F. Ultra-high-speed ground transportation systems: Current Status and a vision for the future. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2020. №9. P.1-7. <http://doi.org/10.15199/48.2020.09.01>
8. Богачев В.А., Терентьев Ю.А., Коледов В.В., Богачев Т.В. Новые Джунгарские Ворота для вакуумного магнитолевитационного транспортного коридора: историческая необходимость. *Транспортные системы и технологии*. 2019. Т.5. №3. С.36-44. <https://doi.org/10.17816/transsyst20195336-44>

9. Суслов Д.А., Шавров В.Г., Коледов В.В., Маширов А.В., Терентьев Ю.А., и др. Сопоставление термодинамической эффективности криогенных газовых и твердотельных магнитокалорических циклов. *Челябинский физико-математический журнал*. 2020. Т.5. №4-2. С.612-617
<https://doi.org/10.47475/2500-0101-2020-15420>
10. Колесов К.А., Маширов А.В., Коледов В.В., и др. Определение параметров теплопередачи в механическом тепловом ключе для холодильной машины с магнитокалорическим. *Челябинский физико-математический журнал*. 2021 Т.6. №1. Р.111-118. <https://doi.org/10.47475/2500-0101-2021-16109>
11. Карпухин Д.А., Петров А.О., Коледов В.В., Суслов Д.А., Шавров В.Г., и др. Твердотельные магнитные материалы для магнито-левитационного транспорта. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №8. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.8.20>
12. Патент РФ № 2782548. Терентьев Ю.А., Суслов Д.А., Коледов В.В., Карпухин Д.А., Петров А.О. *Сверхпроводящая магнито-левитационная транспортная система*. Дата заявки: 31.10.2022.
13. Самвелов А.В., Ясев С.Г., Москаленко А.С., Старцев В.В., Пахомов О.В. Интегральные микрокриогенные системы Стирлинга в составе криостатируемых фотоприёмных модулей на основе матриц длинноволновой ИК-области. *Фотоника*. 2019. Т.13. №1. С.58-64.
<https://doi.org/10.22184/FRos.2019.13.1.58.64>

Для цитирования:

Карпухин Д.А., Петров А.О., Коледов В.В., Бугаев А.С., Суслов Д.А., Шавров В.Г., и др. Разгон, торможение и рекуперация энергии движения магнитолевитационного транспорта. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2022. №11. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.11.5>