



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**РОССИЙСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА
РУТ (МИИТ)**

ул. Образцова, д. 9, стр. 9, Москва, ГСП-4, 127994
Тел./факс: (495) 681-13-40, e-mail: info@rut-miit.ru
ИНН/КПП 7715027733/771501001
ОГРН 1027739733922

№ _____
На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор федерального
государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования
«Российский университет
транспорта» РУТ (МИИТ)

д.т.н., доцент А.В. Савин



« 17 » _____ 09 _____ 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ))
на диссертацию **Соломина Андрея Владимировича**
**«Развитие теории линейных тяговых устройств высокоскоростного
магнитолевитационного транспорта»,**
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальностям:

- 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация;
- 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

1 Актуальность темы исследований

Опережающее и инновационное развитие железнодорожного транспорта – важнейшей отрасли народного хозяйства – позволит укрепить экономику Российской Федерации. Железнодорожный транспорт в настоящее время доставляет большую часть грузов и перевозит свыше половины всех пассажиров в стране.

Эффективности функционирования транспортной системы будет способствовать повышение скорости движения пассажирских и грузовых поездов. О важности этой проблемы свидетельствует создание в структуре ОАО «РЖД» департамента «Центр организации скоростного и высокоскоростного движения» (ЦВСМ). В Российской Федерации планируется строительство ряда высокоскоростных магистралей для пассажирских перевозок.

Повышение эффективности работы транспортной системы страны будет обеспечиваться применением инновационных технологий и технических реше-

ний. Ставятся задачи по разработке принципиально новых видов подвижного состава на основе магнитолевитационных технологий. Магнитолевитационный транспорт (МЛТ) способен развивать скорости движения до 500 км/час, а вакуумный транспорт на основе магнитолевитационных технологий – свыше 1000 км/час. Разработкой систем МЛТ занимаются во многих странах мира. В Российской Федерации над созданием и исследованием высокоскоростного магнитолевитационного транспорта занимаются в ряде научно-исследовательских, и проектно-конструкторских организаций, в ведущих университетах страны. В Санкт-Петербурге на базе Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I для разработок принципиально новых видов подвижного состава на основе магнитолевитационных технологий образован инженерный кластер «Российский Маглев», в который входят несколько ведущих университетов, научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий.

Высокие скорости движения МЛТ предъявляют повышенные требования к эффективности работы линейных тяговых устройств, обеспечивающих разгон, движение и торможение высокоскоростных транспортных экипажей, подвешенных в магнитном поле. Одним из видов тяговых машин для МЛТ являются линейные асинхронные двигатели (ЛАД), разработка и исследование новых конструкций которых представляются актуальными. Для высокоскоростного магнитолевитационного транспорта является очень важной проблема повышения безопасности движения за счет боковой стабилизации экипажа относительно путевой структуры. Считаем, что решение данных научно-технических проблем важно и актуально для создания высокоскоростного магнитолевитационного транспорта. В диссертационном исследовании Соломина А.В. предложено решение этих актуальных научно-технических проблем путем развития теории тяговых линейных асинхронных двигателей, создания их новых конструкций, обеспечивающих боковую стабилизацию экипажа МЛТ и повышение безопасности движения нового вида транспорта.

2 Научная новизна исследований и полученных результатов, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации

В результате выполнения диссертационного исследования соискателем получены следующие новые научные результаты.

По специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

1. Предложен новый принцип боковой стабилизации экипажа высокоскоростного магнитолевитационного транспорта, улучшающий его поперечную динамику и повышающий безопасность движения.

2. Разработаны математические модели тяговых ЛАД с продольно-

поперечным магнитным потоком, работающих на новом принципе действия, на основании которых получены соотношения для расчета интегральных характеристик линейного двигателя при учете взаимного влияния магнитодвижущих сил в воздушном зазоре, токов во вторичном элементе и скорости движения экипажа МЛТ.

3. Разработана математическая модель, позволяющая получать соотношения для расчета динамических усилий поперечной стабилизации при боковых смещениях экипажа с тяговым ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком относительно путевой структуры.

4. Решением оптимизационной задачи установлены зоны оптимального использования тягового ЛАД с поперечным магнитным потоком. Определено, что коэффициент ослабления электромагнитной силы зависит от распределения тока во вторичном элементе, найдены способ уменьшения величины этого коэффициента.

5. Определены соотношения для расчета коэффициента ослабления электромагнитной силы тягового ЛАД с поперечным потоком для МЛТ с учетом распределения тока во вторичном элементе.

6. Установлены оптимальные значения плотности тока во вторичном элементе ЛАД с поперечным магнитным потоком при учете взаимосвязей между скоростью движения экипажа магнитолевитационного транспорта и геометрическими размерами двигателя. Установлено, что приращение плотности тока вторичного элемента при его боковом смещении в любую сторону от оси симметрии всегда будет отрицательным.

По специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

1. Получены аналитические соотношения для расчета плотности тока индуктора тягового ЛАД с продольным магнитным потоком, учитывающие взаимосвязи между геометрическими размерами машины и их влияние на распределение тока в лобовых частях обмотки индуктора двигателя при учете влиянием магнитного поля за пределами индуктора, что позволяет повысить точность расчета тягового усилия.

2. Сформулирована краевая задача, на основе решения которой получены соотношения для расчета плотности тока во вторичном элементе тягового ЛАД с продольным магнитным потоком установлены значения фазовых сдвигов, определяющих зоны эффективного взаимодействия токов индуктора и вторичного элемента.

3. Аналитическим путем получены соотношения для расчета плотностей тока во вторичном элементе линейного асинхронного двигателя с поперечным магнитным потоком, учитывающие взаимосвязи между геометрическими размерами машины и действие поперечного краевого эффекта.

4. Исследование окрестностей экстремума средней плотности тока во

вторичном элементе тягового ЛАД для магнитолевитационного транспорта показало, что максимум занимает узкую область и это приводит к тому, что даже незначительные отклонения от оптимума приводят к значительному уменьшению плотности тока и тягового усилия. Это резко проявляется у линейных асинхронных двигателей с малыми значениями полюсного деления.

5. Разработан и исследован линейный асинхронный двигатель с регулируемым сопротивлением короткозамкнутой обмотки вторичного элемента. Определены закономерности изменения коэффициентов увеличения активного и уменьшения индуктивного сопротивлений короткозамкнутой обмотки регулируемого ЛАД в режимах трогания с места (пуска в ход), торможения и регулирования скорости движения.

6. Предложен комплекс новых конструкций линейных асинхронных двигателей, защищенных 2 авторскими свидетельствами СССР и 25 патентами РФ на изобретения.

3 Значимость полученных результатов для науки и практики

Научная значимость диссертационной работы

1. Сформулированный принцип боковой стабилизации высокоскоростного магнитолевитационного транспорта за счет использования бегущих навстречу друг другу в поперечном движению направлении открывает новое научное направление в области МЛТ и создания многофункциональных линейных асинхронных двигателей.

2. Математические модели тяговых ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком, работающих на новом принципе действия, позволяющие определять соотношения для расчета характеристик двигателей с учетом взаимного влияния магнитодвижущих сил в воздушном зазоре, токов вторичного элемента и скорости движения магнитолевитационного транспорта.

3. Математическая модель, на основе которой определены соотношения для расчета усилий поперечной самостабилизации при боковых смещениях экипажа высокоскоростного МЛТ с тяговым ЛАД относительно путевой структуры.

4. Результаты решения оптимизационной задачи, позволившие установить зоны рационального использования тягового линейного асинхронного двигателя с поперечным магнитным потоком, что необходимо при проектировании ЛАД для магнитолевитационного транспорта. Получены соотношения для расчета коэффициента ослабления электромагнитной силы ЛАД при учете распределения тока во вторичном элементе.

5. Определены оптимальные значения плотности тока во вторичном элементе тягового линейного асинхронного двигателя с поперечным магнитным потоком, учитывающие взаимосвязи между скоростью движения экипажа МЛТ, и геометрическими размерами ЛАД. Установлено, что приращение плотности

тока во вторичном элементе при его смещении в любую сторону от оси симметрии будет отрицательным.

6. Исследование окрестностей экстремума плотности тока во вторичном элементе линейного асинхронного двигателя показало, что максимум функции занимает очень узкую область и даже незначительные отклонения от оптимума приведут к существенному снижению плотности тока и тягового усилия машины. Это явление проявляется особенно резко при малых значениях полюсного деления ЛАД.

7. Установлены особенности регулирования ЛАД при изменении сопротивления короткозамкнутой обмотки вторичного элемента. Определены закономерности увеличения активного и уменьшения индуктивного сопротивлений короткозамкнутой обмотки вторичного элемента тягового линейного асинхронного двигателя в режимах трогания высокоскоростного поезда МЛТ с места (режим пуска в ход), торможения и изменения скорости движения. Доказано, что явление вытеснения тока в пазу (поверхностный эффект) проявляется особенно резко при замыкании части проводников в пазу вторичного элемента, занимающих более половины по высоте паза.

Практическая значимость результатов диссертации

1. Новый способ боковой самостабилизации магнитолевитационного транспорта, основанный на использовании встречно бегущих магнитных полей, позволяет создавать ЛАД, развивающие помимо тяговых усилия поперечной стабилизации, повышающие безопасность движения МЛТ.

2. Математические модели тяговых линейных асинхронных двигателей с продольно-поперечным магнитным потоком с новым принципом действия позволили найти соотношения для расчета интегральных характеристик ЛАД при учете взаимного влияния магнитодвижущей силы в воздушном зазоре, токов вторичного элемента и скорости движения экипажа МЛТ, что повышает точность расчетов.

3. Математическая модель, позволившая определить соотношения для расчета усилий поперечной самостабилизации при боковых смещениях поезда МЛТ с тяговыми линейными асинхронными двигателями с продольно-поперечным магнитным потоком при учете взаимосвязей между геометрическими размерами индуктора, вторичного элемента и величиной бокового смещения, что позволяет проектировать новые системы магнитолевитационного транспорта, обладающее повышенной безопасностью движения.

4. Полученные результаты исследования распределения тока во вторичных элементах линейных асинхронных двигателях с продольным и поперечным магнитными потоками повышают точность расчета тяговых усилий.

5. Установленная возможность нахождения максимума плотности тока во вторичном элементе линейного асинхронного двигателя при заданных значе-

ниях размеров двигателя и скорости движения поезда МЛТ позволяет повысить точность расчета тягового усилия.

6. Новый способ регулирования линейных асинхронных двигателей с короткозамкнутыми обмотками вторичных элементов может получить применение в новых, перспективных транспортных системах, в промышленных электроприводах. Определенные закономерности увеличения активного и уменьшения индуктивного сопротивлений короткозамкнутой обмотки вторичного элемента регулируемого ЛАД при вытеснении тока в пазу позволяет повысить точность расчета характеристик двигателя в переходных режимах, таких как пуск в ход, регулирование скорости и торможение.

4 Личный вклад автора в получении результатов исследования

Считаем, что о личном вкладе автора в получении результатов исследования можно судить по списку основных его публикаций по теме диссертации, включающем 62 работы.

Соломиным А.В. опубликованы 28 научных статей в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки, в 12 из которых он является единственным автором.

Соискатель является единственным автором 2 монографий и 2 патентов РФ на изобретения. В совместных публикациях имеются ссылки на авторов и источники заимствования.

5 Степень достоверности результатов исследований

О достоверности результатов диссертационной работы свидетельствует достаточная корректность при постановке и решении научно-технических задач, обоснованность принятых допущений при решении краевых задач. Теоретические результаты в работе получены на основе фундаментальных законов электротехники, теории электромагнитного поля и теории электромеханического преобразования энергии. Математический аппарат в диссертации использован корректно. Для получения результатов использованы дифференциальное и интегральное исчисления функций одной или нескольких переменных, векторный анализ, комплексное исчисление, принцип определения экстремума функции, ряды Фурье.

Теоретические результаты, полученные в диссертации, подтверждены достаточным совпадением с данными экспериментальных исследований.

6 Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты, полученные в диссертации, имеют теоретическое и практическое значение и некоторые из них уже нашли свое применение, о чем свидетельствуют акты внедрения.

Результаты рекомендуется для использования в организациях, которые занимаются разработкой, проектированием и исследованием принципиально новых видов высокоскоростного транспорта при создании систем повышения безопасности движения за счет боковой стабилизации.

Использование встречно бегущих магнитных полей позволит создавать новые, многофункциональные электрические машины для транспорта, промышленных электроприводов и робототехники.

Линейные асинхронные двигатели с изменяемым сопротивлением короткозамкнутых обмоток вторичных элементов расширяют пределы регулирования скорости и могут быть рекомендованы для применения в глубоко регулируемых электроприводах с поступательным или возвратно-поступательным движением рабочих органов.

Результаты исследований рекомендуются для использования при подготовке бакалавров, специалистов и магистров в области электрического транспорта и электромеханики.

7 Оценка структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, 9 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем работы составляет 392 страницы, из них 372 страницы основного текста, включая 105 рисунков, 31 таблицу и 262 литературных источника.

Содержание и структура диссертации выстроены логично, полностью соответствуют целям исследования и решениям научных проблем и задач, поставленных в работе.

8 Соответствие диссертации заявляемым научным специальностям

Диссертационная работа Соломина А.В. «Развитие теории линейных тяговых устройств высокоскоростного магнитолевитационного транспорта» соответствует следующим пунктам областей исследования научных специальностей:

– 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация в области исследований:

п. 5 «Подвижной состав нового поколения и тормозное оборудование, повышающее безопасность движения поездов и пропускную способность железных дорог»; п. 6 «Оценка динамических и прочностных качеств подвижного состава»; п. 8 «Тяговые и тормозные расчеты. Тяговые и тормозные качества подвижного состава. Обеспечение безопасности движения подвижного состава»;

– 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты:

п. 1 «Анализ и исследование физических явлений, лежащих в основе функционирования электрических электромеханических преобразователей и электрических аппаратов»; п. 2 «Разработка научных основ создания и совершенствования электромеханических преобразователей и электрических аппаратов»;

шенствования электрических электромеханических преобразователей и электрических аппаратов».

9 Соответствие автореферата диссертации ее содержанию

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, содержит достаточную информацию об основных положениях и выводах диссертации, позволяет сделать заключение о научных результатах и научном уровне работы.

10 Замечания по диссертации

1. Линейные тяговые устройства для высокоскоростного магнитолевитационного транспорта могут быть выполнены не только на основе линейных асинхронных двигателей, но и на базе линейных синхронных машин. В диссертации отсутствует сопоставление линейных тяговых устройств с асинхронными и синхронными двигателями.

2. В диссертации рассматриваются системы магнитолевитационного транспорта с размещением индукторов линейных асинхронных двигателей в путевой структуре. Как обеспечить электроснабжение индукторов ЛАД при их расположении непосредственно на высокоскоростном экипаже, подвешенном в магнитном поле?

3. Следовало более четко пояснить (гл. 2), в каких случаях при расчете тяговых линейных асинхронных двигателей необходим учет тока в лобовых частях обмотки индуктора. Насколько при таком учете тока повысится точность расчета тягового усилия?

4. Следовало подробнее осветить вопросы способов изменения сопротивления короткозамкнутой обмотки вторичного элемента регулируемого тягового линейного асинхронного двигателя, особенно в машинах средней и большой мощностей.

5. В диссертационной работе отсутствует оценка величины поперечного усилия, возвращающего высокоскоростной экипаж МЛТ в симметричное положение при боковых смещениях при использовании в тяговом ЛАД конструкции вторичного элемента, представленной на рис. 6.4.

6. В диссертации нет теоретических исследований в области нагрева тягового линейного асинхронного двигателя. С какой целью в гл. 9 приводятся результаты тепловых экспериментальных исследований ЛАД?

7. Рисунки (рис. 1.9, рис. 7.5 и 8.1) во многом аналогичны. Достаточно привести, например, рис. 1.9 и сослаться на него в 7 и 8 главах.

8. В диссертации нет сравнительной оценки систем высокоскоростного магнитолевитационного транспорта с линейными тяговыми устройствами на ба-

зе ЛАД различного типа (с продольным, поперечным и продольно-поперечным магнитным потоком).

Однако, указанные замечания не носят принципиального характера и не оказывают существенного влияния на общий высокий уровень диссертации.

11 Заключение по диссертационной работе

Диссертация Соломина Андрея Владимировича «Развитие теории линейных тяговых устройств высокоскоростного магнитолевитационного транспорта» обладает внутренним единством, выполнена на актуальную тему и полученные результаты имеют практическую ценность.

Научно-квалификационная работа включает в себя разработанные теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, содержит научно-обоснованные новые технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие транспортной и электротехнической отраслей страны. Рассматриваемая диссертационная работа соответствует критериям п.п. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842, а Соломин А.В. достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация и 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Тяговый подвижной состав» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университета транспорта», протокол № 1 от «03» сентября 2020 г.

Профессор кафедры «Тяговый подвижной состав»
доктор технических наук, с.н.с.

А.Т. Осяев

Профессор кафедры «Тяговый подвижной состав»
доктор технических наук, доцент

В.П. Смирнов



Соломин Андрей Владимирович
Осяев и В.П. Смирнов
Директора
И.И. Смирнов