

ОТЗЫВ

официального оппонента Коняева Андрея Юрьевича, доктора технических наук, профессора на диссертационную работу Соломина Андрея Владимировича «Развитие теории линейных тяговых устройств высокоскоростного магнитолевитационного транспорта», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по научным специальностям 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация и 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Актуальность темы. Одним из важнейших направлений повышения эффективности железнодорожного транспорта является увеличение скорости движения поездов. Это неизбежно требует использования принципиально новых технических решений. В частности, для достижения скоростей 350-500 км/ч целесообразно использовать магнитолевитационные транспортные системы, основу которых помимо устройств магнитного подвеса составляют тяговые линейные электроприводы, обеспечивающие бесконтактную передачу электромагнитных усилий движущемуся экипажу. Поэтому тема диссертации А.В. Соломина, посвященной развитию теории тяговых линейных асинхронных двигателей и отработке новых технических решений, направленных на повышение надежности, безопасности и управляемости линейных тяговых устройств, безусловно актуальна.

Соответствие паспорту научных специальностей. Рассматриваемые в диссертации Соломина А.В. вопросы связаны с разработкой тяговых линейных электрических двигателей. При этом исследования направлены на изучение особенностей электромагнитных процессов в электродвигателях, на совершенствование их конструкций, что соответствует паспорту специальности 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 электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов»). С другой стороны, в работе затрагиваются вопросы тягового электропривода, исследуются особенности режимов электромагнитного торможения и поперечной стабилизации экипажей, характерные для систем как магнитолевитационного, так и рельсового высокоскоростного транспорта. С учетом этого направления теоретических и экспериментальных исследований вполне соответствуют научной специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (п. 5 – «Подвижной состав нового поколения и тормозное оборудование, повышающее безопасность движения поездов и пропускную способность железных дорог»).

Структура диссертации и основные результаты разделов

Диссертация состоит из введения, 9 глав, заключения, списка литературы из 262 наименований и 7 приложений. Материал работы изложен на 398 страницах, включая 378 страниц основного текста со 105 рисунками и 31 таблицей. Структура и оформление диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

Во введении обоснована актуальность проблемы, определены объекты и направления исследований, оценивается уровень разработанности темы. Сформулированы цель и задачи исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, их научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы с учетом специфики обеих научных специальностей.

В первой главе на основании литературных источников выполнен анализ состояния разработок высокоскоростных наземных транспортных систем (ВСНТ) с линейными асинхронными двигателями (ЛАД).

Разработки тяговых ЛАД для ВСНТ как в нашей стране, так и за рубежом ведутся не одно десятилетие. За это время накоплен большой опыт теоретических и экспериментальных исследований, имеются примеры реализации таких транспортных систем. В то же время остается потребность в создании новых технических решений, направленных на улучшение как технических характеристик (повышение устойчивости и эффективности торможения экипажей, увеличение безопасности перевозок, снижение энергопотребления), так и экономических показателей ВСНТ (уменьшение стоимости систем и снижение затрат на их эксплуатацию). В главе описан целый ряд новых технических решений, предложенных в Ростовском государственном университете путей сообщения при участии и под руководством автора.

В целом автор верно оценивает состояние разработок в области ВСНТ, отмечает некоторые проблемы, требующие решения, и обосновывает целесообразность применения ЛАД в системах ВСНТ. В качестве замечания можно отметить, что в списке литературных источников, положенных в основу обзора, более 40% составляют работы РГУПС и в то же время отсутствуют иностранные публикации последних лет.

Во второй главе обсуждаются математические модели индукторов ЛАД как с продольным, так и с поперечным магнитным потоком, основанные на замене реальных токов индуктора токами, вынесенными в рабочий немагнитный зазор машины, и представлении плотности этих токов в рабочей зоне и в зоне лобовых частей аналитическими выражениями, предполагающими гармоническое распределение намагничивающих сил обмоток. Приведены примеры анализа распределения токов в продольном и поперечном направлении с использованием полученных выражений.

Автору следовало более четко обосновать допущения, принятые при построении моделей, а также указать, где могут быть использованы полученные модели в дальнейшем.

В третьей главе рассматриваются математические модели для анализа электромагнитных процессов в ЛАД с продольным магнитным потоком. В основу моделирования положены подходы, предложенные профессором П.К. Будигом (при анализе распределения вторичных токов) и профессором А.И. Вольдеком (при оценке электромагнитных усилий). Цель моделирования состоит в оценке влияния поперечного краевого эффекта на распределение вторичных токов и на величину электромагнитных усилий.

Результаты анализа и выводы автора следовало сопоставить с результатами исследований других авторов (Ямамура, Болтон и др.), занимавшихся исследованием поперечного краевого эффекта.

В четвертой главе моделируются электромагнитные процессы в ЛАД с поперечным магнитным потоком. При моделировании предполагается наличие только нормальной составляющей бегущего магнитного поля, изменяющегося по гармоническому закону над областью сердечников индуктора и отсутствующего над лобовыми частями сосредоточенных катушек. В отличие от известных решений автор дополнительно учитывает неравномерность распределения амплитуды бегущего магнитного поля по ширине индуктора, в том числе предлагает способ определения дополнительного электромагнитного усилия, развиваемого над лобовыми частями катушек в средней части индуктора.

В пятой главе оценивается влияние взаимного расположения индуктора и вторичного элемента, а также соотношения их размеров для случая ЛАД с поперечным магнитным потоком на величины вторичных токов и электромагнитных усилий.

В шестой главе описаны разработанные автором конструкции ЛАД с короткозамкнутой обмоткой вторичного элемента, в пазах которого располагаются группы стержней, изолированных друг от друга. Сопротивление такой короткозамкнутой обмотки может регулироваться за счет изменения количества стержней, замыкаемых через подвижный элемент (боковую замыкающую шину). Решены частные задачи о распределении магнитных полей рассеяния в пазу вторичного элемента при разном их количестве и разном расположении по высоте паза. Полученные решения позволяют уточнять значения активных и реактивных сопротивлений вторичного элемента.

В седьмой главе рассмотрены конструкции ЛАД с продольно-поперечным замыканием магнитных потоков, содержащие магнитопроводы с поперечной и продольной шихтовкой. Показана возможность формирования встречно бегущих магнитных полей, обеспечивающих создание поперечных электромагнитных усилий, обеспечивающих самостабилизацию экипажей. Предложена методика расчета таких ЛАД, основанная на подходе, предложенном профессором К. Оберетлем и использованном в дальнейшем в ЛИИЖТе. К сожалению, результаты расчетов по указанной методике и оценка характеристик таких ЛАД не представлены.

В восьмой главе более детально на качественном уровне рассмотрены процессы поперечной самостабилизации. Приведены примеры схем обмоток, при которых создаются электромагнитные усилия как в продольном, так и в поперечном направлении.

В девятой главе описаны лабораторные и опытно-промышленные образцы ЛАД как с продольным, так и с поперечным магнитными потоками. Представлены некоторые результаты исследования таких машин (тепловые испытания, оценка распределения магнитных полей, оценка усилий поперечной стабилизации).

В заключении представлены основные выводы по результатам работы.

Новизна исследований и полученных научных результатов заключается в разработке новых конструкций ЛАД как с продольным, так и с поперечным магнитными потоками, защищенных 2 авторскими свидетельствами и 25 патентами. Новые технические решения обусловили необходимость разработки математических моделей и методик расчета ЛАД, а также проведения теоретических и экспериментальных исследований новых электрических машин для выявления закономерностей физических процессов в них.

Ценность полученных результатов для науки и практики. Научная ценность работы состоит в разработке математических моделей электромагнитных процессов в новых конструкциях ЛАД, в выявлении закономерностей физических процессов в них, в обосновании возможностей поперечной самостабилизации экипажей. Практическая ценность заключается в разработке новых конструкций ЛАД, в разработке методик расчета их характеристик, в создании целого ряда опытных образцов ЛАД, испытания которых подтвердили возможность применения их в качестве тяговых двигателей для ВСНТ, в качестве тормозных устройств, а также устройств поперечной стабилизации экипажей. Для специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты важны также результаты, полученные при использовании ЛАД в промышленных установках и отмеченные в актах внедрения.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность полученных результатов обеспечена использованием

при моделировании физических процессов в ЛАД известных подходов и аналитических методов, соответствием результатов расчетов физическому смыслу. Адекватность результатов и выводов подтверждается соответствием результатов расчетов с данными экспериментов. Выводы и рекомендации, полученные при исследованиях, подтверждены при испытаниях ряда опытных машин и устройств.

Полнота отражения результатов диссертации в опубликованных работах. Основные результаты диссертации опубликованы в 62 печатных работах, представленных в автореферате, включая 28 статей в изданиях, включенных в список ВАК, 3 статьи, индексируемых в базах Web of Science и Scopus. Новые технические решения защищены 2 авторскими свидетельствами и 25 патентами РФ на изобретения и полезные модели. Анализ публикаций автора позволяет утверждать, что содержание диссертации отражено в них с требуемой Положением ВАК полнотой. Основные результаты работы прошли апробацию на целом ряде специализированных конференций.

Автореферат отражает содержание диссертации.

По работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Список литературы содержит 262 наименования. Однако, из них только около 30 публикаций зарубежных авторов, при этом датированных 1960-1980 гг. Оценивалось ли современное состояние разработок по рассматриваемой теме за рубежом?

2. При моделировании ЛАД никак не учитываются продольные краевые эффекты, влияние которых особенно проявляется при больших скоростях движения экипажей. Оценивались ли указанные явления?

3. Для расчетов ЛАД в работе предлагается несколько аналитических моделей и методик расчета, основанных на разных подходах. В то же время возможности численных методов и современных компьютерных программ не использованы.

4. В разделе 2 для упрощения расчетов предлагается замена реальных токов индуктора с сосредоточенными катушками токами, распределенными в немагнитном зазоре по гармоническому закону. Выполнялось ли сопоставление картины магнитных полей в реальных ЛАД и в предлагаемой модели?

5. Почему при анализе распределения токов в модели индуктора с поперечным потоком приведен пример только для малореального случая при ширине лобовой части катушки, равной половине полюсного деления (размер сосредоточенной катушки не может превышать полюсное деление)?

6. Помимо сил самостабилизации при боковом смещении экипажа на вторичный элемент действуют также боковые выталкивающие электромагнитные силы, а также силы магнитного притяжения (при наличии обратного магнитопровода). Такие силы в диссертации не оцениваются.

7. Эффект поперечной самостабилизации в явном виде проявляется при ширине вторичного элемента, меньшей ширины индуктора. Однако в этом случае снижается тяговое электромагнитное усилие. Оценивалось ли такое противоречие?

8. Общие замечания по структуре работы: диссертация перегружена решением частных вопросов (например, три главы посвящены вопросам распределения токов индуктора и вторичных токов); характеристики новых ЛАД в режиме тяги, а также в режимах торможения и поперечной самостабилизации представлены скромно; явно недоиспользованы возможности экспериментальных исследований.

9. Имеются отдельные замечания по оформлению диссертации:
- ошибки в записи уравнений (3.11) на стр.71 и (3.18) на стр. 72;

- на рис. 7.5 и 8.1 направление тягового электромагнитного усилия не соответствует чередованию фаз обмотки;
- в тексте раздела 9.2 дана ссылка на схему замещения ЛАД, приведенную на рис. 9.1, но на рисунке показана конструкция двигателя;
- в отдельных главах оси координат меняются местами;
- при иллюстрации результатов расчетов данные ЛАД не приводятся, а даются ссылки на публикации (например, на рис. 8.7);
- в разделе 8.2 появился странный термин «электронное поле» (стр. 282, 286);
- имеются отдельные опечатки и неточности.

Заключение

Высказанные замечания не снижают значимости диссертационной работы, обобщающей весьма большой объем научных исследований и практических разработок. Диссертационная работа Соломина А.В. «Развитие теории линейных тяговых устройств высокоскоростного магнитолевитационного транспорта» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности тяговых линейных электродвигателей для систем высокоскоростного наземного транспорта, внедрение которых значимо для развития отрасли и экономики страны. Диссертация соответствует критериям п.п. 9-11 и 13 «Положения о присуждения ученых степеней» (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к докторским диссертациям, и паспортам научных специальностей 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация и 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты, а её автор, Соломин Андрей Владимирович, достоин присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,
профессор кафедры «Электротехника
и электротехнологические системы»
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»,
доктор технических наук, профессор



А.Ю. Коняев

21.09.2020

Сведения об оппоненте

Коняев Андрей Юрьевич – профессор кафедры «Электротехника и электротехнологические системы», д.т.н. (05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты), профессор. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»)

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Телефон: +79126264980

E-mail: a.u.konyev@urfu.ru

<https://urfu.ru/ru/about/personal-pages/Personal-page-of-A.Yu.Konyev>

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

Коняев А.Ю.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРОЗОВА В.А.

Морозова В.А.

