

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента Колпахчяна Павла Григорьевича на диссертационную работу Харисова Ильдара Ришатович на тему «Адаптивная система управления тяговым электроприводом магистрального электровоза с переменной структурой», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

1. Актуальность работы

Актуальность разработки систем управления тяговым электроприводом, а в частности системы управления тяговым усилием прежде всего обусловлена необходимостью увеличения пропускной способности железных дорог. Существует проблема, негативно влияющая на пропускную способность, связанная с низким коэффициентом сцепления, которая возникает в зоне контакта «колесо-рельс» из-за выпадения осадков, наличием растительности в зоне головки рельса, наличия загрязнений в виде масляных пятен и т.д. Вследствие снижения коэффициента сцепления снижается и реализуемый момент тягового электропривода, что влечет за собой падение скорости подвижного состава, в случае превышения силой тяги колесной пары силы сцепления в точке контакта колесной пары и рельса.

Несмотря на то, что характеристики зависимости коэффициента сцепления от скорости сцепления достаточно изучены, тем не менее в полной мере не раскрыты принципы управления тяговым приводом в условиях ограничения по сцеплению.

Известно, что магистральные электровозы могут перевозить составы массой порядка 10 000 тонн. С целью обеспечения прохождения подъемов тяжеловесных составов в условиях снижения коэффициента сцепления, актуальной задачей является разработка системы управления тяговым приводом.



Обобщая сказанное, можно утверждать, что исследования, выполненные в диссертации Харисова И.Р, является своевременными и востребованными, тема диссертации является актуальной.

2. Структура и содержание

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения и списка литературы из 119 наименований. Работа изложена на 166 страницах машинописного текста, содержит 102 рисунка и 23 таблицы.

В первой главе рассмотрен вопрос контакта в точке «колесная пара – рельс», перечислены причины изменения коэффициента сцепления и представлены характеристики зависимости коэффициента сцепления от скорости скольжения. Проведен анализ современных структур тягового привода подвижного состава и систем управления тяговым приводом. Отдельно в класс выделена система управления тяговым усилием и представлена классификация данного класса по функциональному признаку.

Во второй главе представлена математическая модель тягового асинхронного тягового двигателя. Представлены результаты математического и натурального экспериментов, проведённых на асинхронном тяговом приводе и приведены результаты верификации модели. Представлена математическая модель АИН с векторной системой управления. Произведен синтез математических моделей: тягового двигателя и АИН с векторной системой управления. Приведены результаты верификации синтезированной модели. Представлены выражения для косвенного определения момента сцепления и коэффициента сцепления, представлены результаты численных и натуральных экспериментов для подтверждения корректности выражений.

В третьей главе представлена адаптивная структура управления тяговым приводом и приведено ее описание. Предложены и рассмотрены два метода определения оптимальной скорости скольжения заданного момента: поиска максимума и с табличным методом выбора скорости скольжения. Проведен

анализ двух методов и определено, что метод с табличным выбором скорости скольжения наиболее робастен в условиях промышленной эксплуатации.

В четвертой главе представлена структурная схема математической модели тягового электропривода и условий сцепления в точке «колесная пара – рельс». Приведены результаты моделирования, причем результаты моделирования верифицированы на основании данных, полученных в промышленной эксплуатации непосредственно на объекте – электровозе ЗЭС8.

В пятой главе приведены результаты полунатурных и натурных исследований адаптивной системы как в условиях испытаний, так и в условиях промышленной эксплуатации. Результаты промышленной эксплуатации подтвердили верность принятых решений в данной работе.

3. Научные результаты и их новизна

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена классификация способов управления тяговым приводом в режимах предельных усилий, отличающаяся тем, что классификационными признаками являются функции, выполняемые системой управления тяговым усилием, что позволяет определять перспективные направления исследований в области тягового электропривода.

2. Разработан метод поиска оптимальной скорости скольжения колесной пары в режиме избыточного скольжения, отличающийся тем, что скорость скольжения колесной пары определяют по таблице зависимости скорости скольжения от момента сцепления, составленной по результатам испытаний при выпуске электровоза с производства.

3. Предложена комплексная математическая модель тягового электропривода позволяющая исследовать системы управления тяговым усилием в соответствии с классификацией систем управления тяговым усилием, отличающаяся наличием подсистемы определения эффективности

скольжения колесной пары и блока, имитирующего задержку сигнала при передаче данных.

4. Разработан адаптивный пропорционально-интегральный регулятор, реализующий закон управления тяговым моментом электродвигателя, отличающийся тем, что на основании сигнала ошибки вычисляют корректирующий коэффициент пропорциональной части передаточной функции регулятора;

5. Предложен критерий оценки эффективности работы автоматической системы управления тяговым усилием в режиме избыточного скольжения при моделировании системы управления тяговым усилием на компьютерной модели.

4. Основные практические результаты работы

Основные практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Применение адаптивного пропорционально-интегрального регулятора позволяет компенсировать возмущающие воздействия от пути и механической части магистрального электровоза.

2. Применение метода поиска оптимальной скорости скольжения колесной пары в режиме избыточного скольжения позволяет определять текущее задание по скорости скольжения колесной пары при изменении коэффициента сцепления.

3. Предложена структура полунатурного стенда для проведения экспериментальных исследований законов управления тяговым электроприводом, в состав которого входят: одноплатные ЭВМ и персональный компьютер, связь между которыми осуществляется по интерфейсам Ethernet и CAN. Стенд позволяет проводить испытания в реальном масштабе времени и проводить исследования тягового привода в условиях изменения коэффициента сцепления.

4. Применение разработанной адаптивной системы тяговым приводом, позволяет определять и реализовывать эффективное скольжение колесной пары и как следствие обеспечивать оптимальные кинематические режимы движения магистрального электровоза с асинхронным тяговым приводом.

5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций

Достоверность и обоснованность результатов исследований, прежде всего, подтверждаются измерением и обработкой реальных информационных сигналов о техническом состоянии электровоза. Требования к создаваемой системе управления основаны на результатах теоретического анализа тягового привода современного подвижного состава. Достоверность разработанных методик подтверждается корректностью применения математических методов, совпадением результатов расчетов с экспериментальными данными. Достоверность подтверждаются метрологическим обеспечением и точностью измерительной аппаратуры для получения и обработки результатов экспериментальных исследований.

6. Подтверждение опубликованных основных результатов работы

Согласно представленным в автореферате сведениям, основные научные положения диссертации опубликованы в 5 печатных работах, которые включают 3 статьи в журналах из перечня рекомендованных ВАК и/или Scopus для публикации результатов научных исследований и 2 работы в трудах научно-практических конференций. Представлено 4 доклада на международных научно-практических конференциях. Получено 10 патентов.

7. Соответствие работы научной специальности

Работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы в части физического, математического и компьютерного моделирования компонентов электротехнических комплексов и систем, а также разработки, структурного и параметрического синтеза электротехнических комплексов и систем, и разработки алгоритмов эффективного управления.

8. Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы

8.1. В работе не рассмотрен режим электрического торможения и юза колесных пар.

8.2. Полностью не раскрыто описание типовой тяговой характеристики (рис. 16). Как правило тяговая характеристика представляет собой одну зависимость, на представленной характеристике их две.

8.3. Формула 1.8 не поясняет принцип регулирования тока возбуждения тягового двигателя постоянного тока

8.4. Не раскрыто или отсутствует ссылка на математическое описание полунатурного стенда

8.5. Не указан или не определено период следования дейтаграмм по интерфейсам связи

8.6. Для полноты модели (рис. 4.1) можно было использовать теорию Калкера.

Необходимо отметить, что указанные замечания не являются принципиальными и не снижают ценность диссертационной работы.

9. Заключение

Диссертационная работа Харисова Ильдара Ришатовича соответствует паспорту научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и

системы. Считаю, что представленная диссертационная работа «Адаптивная система управления тяговым электроприводом магистрального электровоза с переменной структурой» соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с пунктами 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции постановления правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Харисов Ильдар Ришатович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
Колпахчян Павел Григорьевич,
доктор технических наук по специальности
05.09.03. Электротехнические комплексы и системы,
доцент, профессор кафедры «Электрическая тяга»
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I»

«26» ноября 2025 г.

 П.Г. Колпахчян

Адрес: 190031, Россия г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9
Телефон: +7 928 213-67-36.
E-mail: kolpahchyan@mail.ru

Я, Колпахчян Павел Григорьевич, даю согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы, связанные с защитой диссертации Харисова Ильдара Ришатовича, и их дальнейшую обработку.

«26» ноября 2025 г.

 П.Г. Колпахчян



| | |
|---|---|
| Подпись руки |  |
| удостоверяю. | |
| Начальник Службы управления персоналом университета |  Г.Е. Егоров |
| «27» | «11» 2025 г. |