

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Бокарева Александра Игоревича «**Повышение эффективности индивидуального регулируемого электропривода автотранспортного средства**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

Содержание диссертации соответствует отрасли «Технические науки». Область исследования соответствует специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины» по всем пяти пунктам.

2. Актуальность темы диссертации

Переход на использование тягового электропривода является одним из актуальных направлений развития транспортных средств всех категорий. Современный уровень развития силовой электроники, усовершенствование технологий изготовления электродвигателей, ужесточение норм экологической безопасности способствуют уходу от традиционных схем подвода мощности к ведущим колесам и применению комбинированных энергоустановок или полностью электрических трансмиссий в составе колесной техники.

Применение тягового индивидуального электропривода позволяет реализовывать иной подход к построению активных систем безопасности. Противобуксовочные и антиблокировочные системы, системы курсовой устойчивости могут быть реализованы за счет применения соответствующих алгоритмов верхнего уровня управления тяговым приводом без использования дополнительных механических устройств в составе трансмиссии и тормозной системы. Совестная работа контроллера верхнего уровня и инверторов тяговых электродвигателей позволяет реализовывать тот же функционал, что и традиционные системы активной безопасности, достигая, при этом, большего быстродействия и, тем самым, повышая эффективность их работы. В данной связи, представленные в работе Бокарева А. И. способ повышения эффективности управления индивидуальным электроприводом ведущих колес в рамках реализации на его основе противобуксовочной системы и методика оценки эффективности тягового электропривода отражают актуальность настоящего исследования.

Для реализации поставленной цели автором работы сформулированы шесть основных задач, решение которых отражено в основных результатах и выводах по работе.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Основные результаты исследований и защищаемые научные положения являются новыми. Научной новизной обладают следующие положения:

- разработанный алгоритм работы противобуксовочной системы (ПБС) за счёт управления величиной тока двухконтурного индивидуального регулируемого электропривода для регулирования крутящих моментов на ведущих колесах без реактивного воздействия рабочей тормозной системы;
- разработанная методика сравнительной оценки эффективности электропривода автотранспортного средства с использованием систем виртуально-физических испытаний;
- разработанный типовой городской дорожный цикл в комбинации с вероятностным распределением типов дорожных покрытий для оценки эффективности алгоритмов управления индивидуальным регулируемым электроприводом автотранспортного средства.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В ходе проведения исследований были использованы апробированные методы математического моделирования физических процессов и математического анализа. Достоверность представленных в диссертации исследований обеспечивается за счет корректного выбора базовых теоретических положений, адекватности применяемых математических моделей. Представленные положения подтверждены в ходе проведения полунатурных стендовых экспериментов с использованием современного поверенного измерительного оборудования при реализации различных алгоритмов управления индивидуальным тяговым электроприводом ведущих колес.

5. Научная и практическая значимость результатов диссертации

Научная значимость работы заключается в разработанных в ходе настоящего исследования:

- математической модели динамики плоского движения автомобиля, отличающейся от известных моделей возможностью имитации индивидуального регулируемого электропривода с различными способами управления;
- математической модели алгоритма управления тяговым электроприводом, отличающейся от известных построением искусственной зависимости между коэффициентом буксования колеса и отношением

текущего и номинального крутящих моментов с последующим анализом знака производной данной функции (определение перегиба).

Научную ценность работы также представляет предложенная методика сравнительной объективной оценки эффективности электропривода автотранспортного средства, полученной на основе комплекса теоретических и экспериментальных исследований. Отличительной особенностью данной методики является применение таких критериев эффективности, как: суммарный средний коэффициент полезного действия колеса в тяговом режиме за цикл, суммарный средний коэффициент полезного действия системы электроприводов в тяговом режиме за цикл, общий суммарный коэффициент полезного действия системы в тяговом режиме за цикл, затраты электрической энергии в тяговом режиме за цикл. Данная методика позволяет оценивать качество работы, в том числе, системы управления тяговыми приводами при различных способах регулирования крутящего момента.

Практическая значимость работы заключается:

- в реализации системы виртуально-физических испытаний, которая предусматривает совместное использование комплекса математических моделей и стендового оборудования ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» для испытания электромашин;

- в реализации экспериментального исследования характеристик эффективности индивидуального регулируемого электропривода автотранспортного средства с использованием технологий программно-аппаратного моделирования «HILS» (hardware in the loop simulation);

- в разработке отладочного программного обеспечения нагрузочных преобразователей и комплекта тяговых электроприводов, позволяющего откалибровать системы тяговых преобразователей перед испытаниями и контролировать характеристики электропривода в ходе испытаний.

Использование на практике предлагаемой методики оценки эффективности электропривода транспортного средства позволяет определить оптимальный с точки зрения энергоэффективности режим управления тяговым приводом при различных циклах и условиях движения.

Созданные в ходе настоящего исследования программа алгоритма работы противобуксовочной системы на основе управления индивидуальным электроприводом и методика сравнительной объективной оценки эффективности электропривода автотранспортного средства применяются в ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» и ПАО «КАМАЗ» при исследованиях и разработках специальных колесных машин, что подтверждается актами внедрения.

Работа прошла апробацию на научно-исследовательских конференциях и научных семинарах.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные научные результаты опубликованы в пяти работах в действующих изданиях, входящих в «Перечень рецензируемых научных журналов», рекомендованных ВАК РФ.

Содержание всех выводов по диссертации и всех положений, выносимых на защиту, полностью раскрыто в публикациях соискателя.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Требования ВАК РФ к оформлению диссертации и автореферата выполнены.

Диссертация состоит из введения, 5 глав основного текста, выводов, рекомендаций, общих результатов и списка литературы из 106 наименований. Объем диссертации составляет 158 страниц, работа включает 90 рисунков и 18 таблиц.

Автореферат диссертации соответствует содержанию работы. Общая характеристика работы и заключение, приводимые в автореферате, отражают соответствующие разделы диссертации.

8. Оценка содержания диссертации

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулирована цель, отражена научная новизна и приведены основные положения, которые выносятся на защиту.

В главе 1 представлен обзор и анализ отечественных и зарубежных исследований по проблемам повышения энергоэффективности комбинированных энергоустановок (КЭУ), электромобилей, индивидуального регулируемого электропривода ведущих колес (ИРЭ). В настоящей главе приведены структурные схемы трансмиссии транспортных средств с КЭУ и полноприводные компоновочные схемы с ИРЭ. Отмечены основные подходы к реализации систем активной безопасности при использовании ИРЭ, выделены наиболее эффективные с точки зрения потерь энергии и быстродействия алгоритмы управления ИРЭ. Также в главе отмечена одна из актуальных проблем при использовании ИРЭ – работа системы управления при условии различных коэффициентов сцепления шин с опорной поверхностью.

По результатам анализа работ по данному направлению были сформированы задачи исследования, решению которых посвящены остальные главы диссертации.

В главе 2 описана математическая модель плоского движения двухосного транспортного средства с колесной формулой 4x2 с тремя степенями свободы и реализацией функционала ПБС. Приведена последовательность алгоритма реализации противобуксовочной системы,

основанная на построении искусственной зависимости между коэффициентом буксования колеса и относительным крутящим моментом и последующим анализом производной указанной функции. Представленный подход к реализации системы ПБС позволяет поддерживать предельный крутящий момент электродвигателя для определенных дорожных условий. В качестве тягового привода выступает модель электродвигателя «YASA-400» с векторным регулированием величины крутящего момента. Помимо этого, в главе описан порядок выбора типового цикла движения транспортного средства для оценки эффективности функционирования системы управления.

В главе 3 представлено сравнение эффективности различных алгоритмов регулирования ИРЭ по результатам проведения виртуальных экспериментов с использованием разработанной плоской модели движения транспортного средства. В качестве режима движения при проведении виртуальных экспериментов выступает выбранный во второй главе типовой дорожный городской цикл для стендовых испытаний силовых агрегатов по технологии HILS в комбинации с вероятностным распределением типов дорожных покрытий. Отдельно отмечено, что разработанный в ходе настоящего исследования алгоритм управления ПБС позволяет повысить КПД ведущего колеса до 17,7%.

В главе 4 отражены состав и принципы функционирования нагрузочного стенда для испытаний электромашин, способного имитировать режимы нагружения двухконтурного тягового ИРЭ. Стендовый комплекс представляет собой виртуально-физическую систему, состоящую из элементов двухконтурного ИРЭ, нагрузочных устройств на базе асинхронных электродвигателей «Siemens 1PV5138-4WS24», энергетического модуля, системы управления верхнего уровня и датчиковой аппаратуры. Система управления верхнего уровня позволяет реализовывать взаимодействие разработанной математической модели движения транспортного средства с контроллером стенда и инверторами тяговых приводов и нагружающих устройств при проведении полунатурных испытаний ИРЭ.

В главе 5 представлены результаты сравнения эффективности функционирования различных алгоритмов управления ИРЭ, полученные при выполнении виртуально-физических испытаний на рассматриваемом стендовом оборудовании. Отмечено, что наибольшую энергоэффективность (по каждому из параметров оценки) показал разработанный в ходе настоящего исследования алгоритм непосредственного регулирования крутящего момента ИРЭ. Отдельно отмечена высокая сходимость результатов при проведении виртуального и полунатурного экспериментов – отличия в значениях крутящего момента ведущего колеса не превышают 10%. В ходе проведения указанных экспериментов подтверждена возможность представленного стендового оборудования воспроизводить заданные дорожные циклы и реализовывать различные условия движения по разным бортам транспортного средства.

В заключении представлены основные выводы и результаты по исследованию, среди которых следует выделить:

- алгоритм управления индивидуальным тяговым электроприводом, отличающийся от известных построением искусственной зависимости между коэффициентом буксования колеса и отношением текущего и номинального крутящих моментов с последующим анализом знака производной данной функции (определение перегиба);

- методика сравнительной объективной оценки эффективности электропривода автотранспортного средства с использованием систем виртуально-физических испытаний, отличающаяся от известных применением таких показателей, как затраты электрической энергии в тяговом режиме за цикл, общий суммарный коэффициент полезного действия системы в тяговом режиме за цикл, суммарный средний коэффициент полезного действия системы электроприводов в тяговом режиме за цикл, суммарный средний коэффициент полезного действия колеса в тяговом режиме за цикл;

- типовой городской дорожный цикл для оценки эффективности алгоритмов управления тяговым электроприводом, отличающийся от известных применением статистических данных по зависимости скорости движения транспортных средств от времени в городских условиях в комбинации с вероятностным распределением типов дорожных покрытий.

9. Замечания по диссертационной работе

1. В работе отсутствует описание целевой функции и критериев оптимизации, в соответствии с которыми осуществляется подтверждение оптимальности предлагаемого алгоритма управления тяговым электроприводом;

2. Во второй главе при описании математической модели плоского движения транспортного средства с тремя степенями свободы требуется добавить информацию об адекватности и точности полученной модели движения.

3. В исследовании не представлено обоснование выбранных критериев оценки эффективности алгоритмов управления тяговым индивидуальным электроприводом.

4. Требуется расширить перечень допущений, принятых при построении математической модели движения транспортного средства: в модели не отражается работа источника энергии тягового ИРЭ.

5. В формуле (2.14) текста диссертации приведен некорректный знак перед коэффициентом трения частичного скольжения в продольном направлении; в формуле (2.12) вместо кинематического радиуса колеса следует применять радиус колеса в свободном режиме качения;

6. По тексту диссертации не понятно, каким образом осуществлялся переход от теоретических экспериментов к практическим с точки зрения

математической модели и настройки параметров моделирования: упрощения модели при работе со стендовым оборудованием для достижения заданного быстродействия, вычислительные мощности системы управления верхнего уровня стенда, заданная точность и шаг решателя модели.

10. Заключение

Отмеченные недостатки и замечания не снижают научной и практической значимости, а также научной ценности выполненной работы.

Диссертация Бокарева Александра Игоревича является актуальной и завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи снижения энергетических потерь в транспортном средстве с электротрансмиссией за счёт использования разработанного алгоритма управления ПБС при различных свойствах опорного основания под левым и правым бортом.

Диссертация Бокарева Александра Игоревича, представленная к соисканию ученой степени кандидата технических наук, соответствует научной специальности 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины».

В целом по актуальности, научной новизне, объёму материалов, научной ценности теоретических и экспериментальных исследований, а также практическому значению полученных результатов выполненная работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Бокарев Александр Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Официальный оппонент,
к.т.н., инженер
научно-исследовательского института
«Специальное машиностроение»
ФГБОУ ВО МГТУ им. Н. Э. Баумана,
105005, г. Москва,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1
8(499)263-63-91
bauman@bmstu.ru
buzunovnv@bmstu.ru

« 20 » августа 2018 г.

Бузунов Николай Викторович

