

Министерство науки и высшего образования РФ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования

**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

664074 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 83  
телефон: +7(3952)405-000, факс: +7(3952)405-100  
E-mail: [info@istu.edu](mailto:info@istu.edu)  
ОКПО 02068249, ОГРН 1023801756120  
ИНН/КПП 3812014066/381201001

*25.05.2022 № 11-1695/22*

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ:**

Ректор ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»



2022 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ») на диссертационную работу Умницына Артёма Алексеевича «Повышение тормозной динамики электромобилей и гибридных автомобилей, включающих в состав антиблокировочной системы фрикционные тормозные механизмы и электромашины», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины.

#### **Актуальность темы диссертации**

Анализ развития мирового автомобильного рынка показывает, что продажа электромобилей к 2030 году в странах ЕС достигнет 40%, в Соединенных Штатах Америки – 35%, в Китае – 46%. Использование в тяговом приводе электромобилей и гибридных автомобилей электромашин создает предпосылки для изучения возможности расширения их рабочих функций. Одним из возможных вариантов является объединение работы фрикционных тормозных механизмов и электромашин в процессе экстренного торможения с использованием антиблокировочной системы (АБС).

Альтернативой применения традиционного блока антиблокировочной системы является реализация тормозной системы типа «*brake-by-wire*». Преимуществами данной системы является увеличение частоты регулирования давления в рабочих тормозных цилиндрах,

возможность реализации различных алгоритмов работы тормозов, в том числе без участия водителя (работа в составе адаптивного круиз-контроля, и т.д.).

Учитывая, что электромашина обладает высоким быстродействием (до 20 Гц), легкостью управления, повышенной точностью задания тормозного момента на валу электромашины, следует ожидать улучшения тормозных характеристик гибридных автомобилей, а также электромобилей при использовании электромашин в составе исполнительных устройств антиблокировочной системы.

Таким образом, актуальным становится изучение и поиск оптимальных конструкций, компоновочных решений, а также алгоритмов работы высоковольтных компонентов автомобиля для реализации всех преимуществ использования электрических машин в составе антиблокировочной системы.

### **Оценка структуры и содержания работы**

Диссертационная работа Умницына А.А. состоит из введения, 5 глав основного текста, заключения, списка использованных источников литературы и приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 200 страниц машинописного текста, включая 108 рисунков, 17 таблиц. Список источников содержит 109 наименований. Структура построения диссертационной работы вытекает из поставленной цели и задач, сформулированных для её реализации. Отмечается полнота изложенного научного материала.

*В введении* автором обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследуемого научного вопроса, его новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы.

*В первой главе* выполнен анализ исследований в области объединения, в качестве исполнительных устройств системы АБС, фрикционных тормозных механизмов и электромашин, а также способов определения целевого коэффициента проскальзывания, соответствующего максимальному коэффициенту сцепления шин с опорной поверхностью, с целью повышения тормозной динамики электромобилей и гибридных автомобилей. Для дальнейшей работы выбрана комбинация из управления на основе адаптивной экстремальной системы и системы управления на основе нечеткой логики. Для определения целевого коэффициента проскальзывания выбран подход на основе определения наклона кусочнолинейной функции проскальзывания (Slip slope), как наиболее простой в настройке и обеспечивающей требуемую точность задания целевого коэффициента проскальзывания колес.

*Во второй главе* разработан комплекс математических моделей, позволяющих исследовать торможение автомобиля при совместной работе фрикционных тормозных механизмов и электромашин в приводе ведущих

колес в составе антиблокировочной системы. Комплексная математическая модель позволяет: осуществлять итерационное вычисление с поддержкой методов численного интегрирования; учитывать продольное, поперечное и вертикальное перемещение кузова автомобиля, а также крен относительно продольной и поперечной оси и рыскание автомобиля; учитывать кинематику подвески, рулевого управления, особенности гидравлического привода и динамику тормозной системы; учитывать вращение и вертикальное перемещение колес автомобиля, а также учитывать изменение коэффициента проскальзывания; проводить расчет при различных коэффициентах сцепления шин с дорогой, в том числе при ступенчатом изменении коэффициента сцепления в процессе торможения, а также при его различных значениях по бортам автомобиля.

*В третьей главе* рассматриваются и анализируются четыре варианта алгоритма управления исполнительными устройствами антиблокировочной системы с возможностью совместного торможения фрикционными тормозными механизмами и электромашинами в приводе ведущих колес. Также рассмотрен метод определения целевого коэффициента проскальзывания колес.

*В четвертой главе* проведено сопоставление ключевых свойств математической модели и объекта исследования, а также оценка точности определения целевого коэффициента проскальзывания. Оценка точности предложенной математической модели движения электромобиля и метода определения целевого коэффициента проскальзывания в данной работе выполнялась посредством расчёта нормализованной среднеквадратической ошибки модели, а также абсолютной погрешности модели.

*В пятой главе* проведен анализ эффективности экстренного торможения при совместной работе фрикционных тормозных механизмов и электромашин в приводе ведущих колес в составе антиблокировочной системы. Оценка эффективности АБС проводилась в два этапа: сначала проверялось соответствие разработанных алгоритмов минимальным требованиям к эффективности антиблокировочных систем автомобилей, которые изложены в Правилах ООН №13Н, потом проводилась оценка эффективности антиблокировочной системы по дополнительным критериям.

Выводы по главам и заключение по работе основаны на полученных в работе результатах исследований, обоснованы и являются логическим заверением решенных в диссертации задач.

### **Научная новизна диссертации**

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в предложении способа объединения и метода управления исполнительными устройствами системы АБС (фрикционными

тормозными механизмами и электромашинами), а также в выборе способа определения максимального коэффициента сцепления шин с опорной поверхностью; предложение комплекса математических моделей, позволяющих исследовать экстренное торможение электромобиля при совместной работе фрикционных тормозных механизмов и электромашин в приводе ведущих колес в составе антиблокировочной системы; получение научно-обоснованных вариантов алгоритма совместного управления гидравлическим модулятором и электромашинами с выбором предпочтительного варианта; предложение алгоритма определения целевого коэффициента проскальзывания колес автомобиля, который позволяет с достаточной точностью определить коэффициент проскальзывания колес автомобиля; проведение оценки тормозной динамики и эффективности торможения электромобиля с использованием АБС с совместным управлением фрикционными тормозными механизмами и электромашинами по предложенным алгоритмам; проведение сравнительной оценки эффективности торможения для системы совместного управления фрикционными тормозными механизмами и электромашинами и АБС, использующей только фрикционные тормозные механизмы.

### **Практическая ценность и применимость полученных результатов**

Практическая значимость заключается в создании, на основе проведенных исследований, математической модели электрогидравлической части антиблокировочной системы на основе системы типа «*brake-by-wire*», а также математической модели системы «автомобиль-колесо-дорога». Данные модели разработаны с учетом возможности их использования в расчетно-имитационном комплексе, работающем по технологии виртуально-физического моделирования. Разработано и исследовано несколько вариантов алгоритма управления исполнительными устройствами (гидравлическим модулятором системы *brake-by-wire* и электромашинами) с выбором предпочтительного варианта антиблокировочной системы, входящей в состав полноприводного электромобиля. Выполнена оценка эффективности разрабатываемой системы в условиях, предусмотренных Правилами ООН №13Н.

### **Реализация результатов работы**

Основные результаты диссертационной работы применяются во ФГУП «НАМИ» при теоретических исследованиях процесса экстренного торможения электромобилей и гибридных автомобилей, а также в учебном процессе Московского политехнического университета, что подтверждено соответствующими актами внедрения.

## **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и итоговых рекомендаций**

Сформулированные в диссертационной работе Умницаина А.А. научные положения, выводы и заключения подтверждены результатами теоретических и экспериментальных исследований процесса экстренного торможения транспортного средства во время работы антиблокировочной системы при совместном торможении фрикционными тормозными механизмами и электромашинами в приводе ведущих колес.

Экспериментальные исследования проведены с использованием электромобиля-демонстратора в рамках проекта *Electric Vehicle Control of Individual Wheel Torque for On- and Off-Road Conditions* (E-VECTOORC), а также виртуально-физического эксперимента, выполненного в Техническом университете Ильменау (TU Ilmenau, Германия). Достоверность результатов проведенных экспериментов подтверждается применением поверенных, сертифицированных измерительных приборов и комплексов.

При проведении теоретических исследований использовалась современная вычислительная техника с установленным программным комплексом MATLAB и пакетом Simulink.

## **Соответствие содержания диссертации указанной научной специальности**

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту научной специальности 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины, а именно: пункту 2 «Математическое моделирование и исследование кинематики, статики и динамики, а также физико- химических процессов в транспортных средствах, их узлах и механизмах» и пункту 4 «Повышение качества, экономичности, долговечности и надежности, безопасности конструкции, экологических характеристик и других потребительских и эксплуатационных параметров транспортного средства».

**Список литературы** содержит современные иностранные и российские источники, в числе которых основные работы, связанные со способами и методами объединения фрикционных тормозных механизмов и электромашин в составе АБС, а также методами определения целевого коэффициента проскальзывания.

## **Публикация результатов диссертации, соответствие автореферата ее содержанию**

Основные результаты проведенных соискателем исследований опубликованы в 8 научных изданиях, в том числе в изданиях международной базы Scopus - 4, в журналах по Перечню ВАК РФ - 2.

Основные положения и результаты диссертации неоднократно обсуждались на международных научно-технических конференциях в период 2018 - 2021 годов.

Структура и содержание автореферата отражают основное содержание диссертации.

### **Значимость и существенность результатов рассматриваемой диссертации для науки и/или производства**

Результаты диссертационного исследования вносят вклад в развитие теории совместного управления исполнительными устройствами антиблокировочной системы, включающей фрикционные тормозные механизмы и электромашины привода ведущих колес.

Кроме этого, результаты исследований могут быть использованы при разработке АБС для определения оптимального коэффициента проскальзывания, соответствующего максимальному коэффициенту сцепления.

Также результаты и выводы диссертационной работы могут быть рекомендованы к использованию инженерам, работающим в автомобилестроительной отрасли, занимающихся проектированием, расчетами и испытаниями новых конструкций антиблокировочных систем гибридных автомобилей и электромобилей.

### **Недостатки, выявленные в диссертации и автореферате:**

1. В работе отсутствует обоснование выбора форм лингвистических переменных при разработке возможных алгоритмов управления исполнительными устройствами АБС, включающими фрикционные тормозные механизмы и электромашины привода ведущих колес;

2. В работе не отображено, каким образом были получены коэффициенты формулы Н.В. Расеяка, используемой для описания фрикционных характеристик шин;

3. В работе не обоснован выбор дополнительных параметров оценки эффективности работы АБС;

4. Из текста диссертационной работы не понятно, возможно ли применять указанный метод объединения и управления исполнительными устройствами АБС в гибридных автомобилях.

### **Заключение о соответствие диссертации критериям, установленным Положениям о присуждении учёных степеней**

Диссертационная работа является самостоятельной и завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, связанной с повышением тормозной динамики электромобилей и гибридных автомобилей. Диссертационное

исследование имеет существенное значение для развития автомобильной отрасли страны. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключение обоснованы.

Автореферат диссертационной работы отражает ее содержание и соответствует требованиям ВАК РФ. Выполненное исследование соответствует критериям, изложенным в Постановлении Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. «О порядке присуждения ученых степеней». Автор диссертации «Повышение тормозной динамики электромобилей и гибридных автомобилей, включающих в состав антиблокировочной системы фрикционные тормозные механизмы и электромашины» Умницаин Артём Алексеевич заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины.

Диссертация и отзыв рассмотрены и единогласно одобрены на заседании кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИРНИТУ)» (протокол № 9 от 24 мая 2022 г.)

Федотов Александр Иванович  
Заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт»  
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»  
Доктор технических наук, профессор  
[fai.abs@yandex.ru](mailto:fai.abs@yandex.ru)



Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Адрес: Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83; Тел.: +7 (3952) 405-000, Факс: +7 (3952) 405-100, e-mail: [info@istu.edu](mailto:info@istu.edu), официальный сайт: <http://istu.edu>