

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Умницына Артёма Алексеевича
«Повышение тормозной динамики электромобилей и гибридных автомобилей, включающих в состав антиблокировочной системы фрикционные тормозные механизмы и электромашины», представленную
 на соискание ученой степени кандидата технических наук по
 специальности 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины.

Актуальность темы диссертационной работы

Антиблокировочная система (АБС) является системой активной безопасности автомобиля, основное предназначение которой заключается в предотвращении блокировки колес и, соответственно, в сохранении возможности управления машиной водителем при экстренном торможении. Одним из основных недостатков подобных систем в настоящее время является их недостаточное быстродействие. Так исполнительный гидравлический модулятор современных АБС способен регулировать давление в контуре с частотой до 10 Гц, в связи с чем в некоторых случаях увеличивается тормозной путь транспортного средства.

В связи с тем, что в настоящее время широкое распространение получают гибридные автомобили и электромобили перспективным решением является применение в тормозной системе (в частности системе АБС) электромашины, работающей в генераторном режиме. Это приведет с одной стороны к повышению энергоэффективности транспортного средства, за счет запасания части кинетической энергии движения в бортовом накопителе электрической энергии при торможении, а с другой – позволит повысить быстродействие системы АБС и точность поддержания заданного уровня скольжения колес машины в процессе замедления, что обеспечит уменьшение тормозного пути.

Таким образом, улучшение показателей работы АБС за счет совместного использования фрикционных тормозных механизмов и электромашин, входящих в состав силового привода ведущих колес электромобилей и гибридных автомобилей, является актуальной научной задачей.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав основного текста, основных результатов и выводов, списка литературы и трех приложений. Общий объем работы составляет 200 страниц машинописного

текста, включая 108 рисунков, 17 таблиц. Список литературы содержит 109 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследования, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ научных работ, посвященных комбинированию в качестве исполнительных устройств системы АБС фрикционных тормозных механизмов и электромашин. По результатам выполненного анализа выделены преимущества и недостатки различных подходов, которые используются для управления гидравлическим модулятором и электромашинами при работе указанной системы, а также предложена классификация способов управления исполнительными устройствами АБС. Также в главе представлен анализ способов определения целевого коэффициента проскальзывания колеса, при котором реализуется максимальное значение коэффициента взаимодействия движителя с опорным основанием.

В завершении главы представлен обоснованный выбор принципа управления гидравлическим модулятором и электромашинами, используемыми в системе АБС, а также определения целевого коэффициента проскальзывания, совершенствованию которых посвящена диссертационная работе.

Во второй главе подробно рассмотрен разработанный комплекс математических моделей, позволяющий исследовать движение автомобиля во время экстренного торможения при активации антиблокировочной системы с использованием фрикционных тормозных механизмов и электромашин, осуществляющих индивидуальный привод каждого колеса.

В третьей главе описывается разработанный автором алгоритм совместного управления исполнительными устройствами антиблокировочной системы, позволяющий осуществлять комплексное торможение за счет фрикционных тормозных механизмов и электромашин. Указанный алгоритм подразделяется на три этапа: определение текущих коэффициентов проскальзывания колес и взаимодействия с опорным основанием (заимствован из работы S. Semmler); определение целевого коэффициента проскальзывания; комбинированное управление исполнительными механизмами АБС для обеспечения целевого коэффициента проскальзывания.

В четвертой главе представлены результаты оценки точности математических моделей:

- движения электромобиля (при торможении на поверхности с высоким коэффициентом сцепления);
- взаимодействия шины с опорным основанием (при торможении с низким коэффициентом сцепления);

– описывающей гидравлическую часть антиблокировочной системы (реализована в виде передаточной функции).

Также в главе представлен вычислительный эксперимент по оценке точности определения целевого коэффициента скольжения. Совокупность результатов экспериментальных исследований, выполненных автором, доказывает достаточную точность математических моделей, необходимую для оценки эффективности разрабатываемой антиблокировочной системы.

В пятой главе описаны вычислительные эксперименты, посвященные оценке эффективности торможения машины с использованием антиблокировочной системы, функционирующей по разработанному в рамках данной работы алгоритму. Приводится подтверждение соответствия эффективности торможения требованиям правил ООН № 13Н. Кроме этого в главе представлены результаты сравнения тормозной эффективности разработанных вариантов алгоритма управления исполнительными устройствами АБС с алгоритмом, использующим в качестве исполнительных устройств только фрикционные тормозные механизмы, а также с алгоритмом, разработанным в Техническом университете Ильменау (TU Ilmenau, Германия). В ходе исследования показано преимущество предлагаемых автором подходов.

Главы диссертации логически связаны между собой и аккуратно оформлены. Работа имеет завершенный характер, а основные результаты и выводы соответствуют содержанию. Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы.

Список опубликованных автором работ по теме диссертационного исследования достаточен и содержит в 8 печатных работ, в том числе 2 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 4 – в изданиях, индексируемых в международной реферативной базе данных Scopus.

Обоснованность, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Основными научными результатами, представленными в диссертационной работе, являются разработанные / усовершенствованные автором алгоритмы:

– совместного управления гидравлическим модулятором и электромашинами привода ведущих колес, используемыми в качестве исполнительных устройств антиблокировочной системы;

– определения целевого коэффициента проскальзывания колес автомобиля, который позволяет с достаточной для реализации антиблокировочной системы точностью определять коэффициент проскальзывания, соответствующий максимальному значению коэффициента взаимодействия движителя с опорным снегованием.

Эффективность указанных алгоритмов работы системы АБС доказана в рамках вычислительных экспериментов с применением математических

моделей, позволяющих исследовать движение электромобиля при совместной работе фрикционных тормозных механизмов и электромашин в приводе ведущих колес в составе антиблокировочной системы. Указанные математические модели базируются на теоретических исследованиях динамики колесных машин и апробированных методах имитационного математического моделирования, а их точность доказана в ходе выполненных автором натурных экспериментов с применением сертифицированных и поверенных средств измерения.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что полученные автором научные положения достоверны, а выводы и рекомендации обоснованы.

Научная и практическая значимость работы

Диссертант в работе решил научную задачу имеющую важное значения для автомобильной отрасли страны, заключающуюся в повышении показателей работы АБС за счет совместного использования фрикционных тормозных механизмов и электромашин, входящих в состав силового привода ведущих колес электромобилей и гибридных автомобилей путем разработки алгоритмов совместного управления гидравлическим модулятором и электромашинами, а также определения целевого коэффициента проскальзывания колес автомобиля.

Диссертация отличается высоким уровнем теоретических разработок в части имитационного математического моделирования и имеет достаточный объем экспериментальных исследований.

Практическая значимость работы заключается в разработанных автором программах, позволяющих в расчетно-имитационном комплексе, работающем по технологии виртуально-физического моделирования, исследовать различные варианты алгоритмов работы АБС электрогидравлического типа в составе системы «автомобиль-колесо-дорога».

Материалы диссертации внедрены ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», а также используются в учебном процессе на кафедре «Наземные транспортные средства» ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», что подтверждается соответствующими актами.

Апробация работы проходила на научно-исследовательских конференциях и семинарах, в том числе на международных.

Таким образом, можно заключить, что диссертационная работа и результаты исследований Умницына А.А. имеют существенное значение для науки и практики.

Замечания по диссертационной работе

1. Предложенные автором алгоритмы управления системой АБС базируются на определении целевого значения коэффициента скольжения

(соответствующего максимуму коэффициента взаимодействия колеса с опорной поверхностью) по изменению направления наклона аппроксимирующей линейной функции (изменение знака коэффициента c_1). Однако такая форма диаграммы взаимодействия колеса с опорным основанием от скольжения (с выраженным максимумом) характерна только для связных опорных поверхностей, неясно сохранит ли предлагаемый алгоритм работы системы АБС свою работоспособность случае отсутствия максимума, например, при движении по грунтовым дорогам?

2. В работе рассматривается индивидуальное регулирование скольжений колес на осях транспортного средства, однако не проводится оценка устойчивости машины при таком алгоритме работы системы АБС. При этом неясно почему из рассмотрения были отброшены другие принципы регулирования скольжения?

3. Требуют дополнительного пояснения следующие основные моменты на которых базируются предлагаемые автором алгоритмы работы системы АБС:

– исходя из каких предпосылок назначены моменты времени после начала торможения 0,2 с и 0,8 с, а также значение резкого изменения уровня замедления $0,3 \text{ м/с}^2$ в соответствии с которыми изменяются режимы работы системы АБС (страницы 79, 80)?

– на рисунках 15 и 16 (страницы 83, 84) представлены зависимости целевого коэффициента буксования (близкого к оптимальному) и коэффициента K_s от продольного замедления автомобиля, на основании которых осуществляется работа предлагаемых алгоритмов управления с 0,2 с до 0,8 с торможения. Однако неясно как они были получены и для какого типа опорной поверхности они могут быть применены?

– неясно из каких предпосылок подобраны параметры, форма и количество термов, описывающих регуляторы, построенные на принципах нечеткой логики (страницы 91 - 97).

4. В диссертационной работе рассматривается алгоритм управления системой АБС машины основанный на том, что при малом нажатии на педаль тормоза замедление в большей степени осуществляется за счет рекуперативного торможения. Однако в алгоритме никак не учтен бортовой накопитель электрической энергии и способ предотвращения его перезаряда. При высоком уровне заряда накопителя осуществлять рекуперативное торможение может быть невозможно;

5. Из текста работы неясно как были получены эмпирические коэффициенты, описывающие модель шины, для какой опорной поверхности они были определены и как они изменились при изменении коэффициента сцепления с опорной поверхностью, в случае имитации движения машины на различных типах дорог;

6. В диссертации коэффициент взаимодействия шины с опорным основанием называется коэффициентом сцепления, что затрудняет чтение работы;

7. В тексте диссертации присутствуют опечатки, затрудняющие чтение и анализ работы:

– на странице 60 скорость продольного проскальзывания обозначена и V_{cx} и V_{sx} ;

– в формуле (109) на странице 68 в неравенстве, описывающем ограничение врачающего момента электродвигателя в режиме рекуперации, очевидно должен стоять знак «больше»;

– на странице 98 значение целевого давления в тормозном контуре обозначается и P_{ref} и P_d ;

– при анализе показателя Jerk ITAE (страница 157) указано, что в случае использования третьего варианта алгоритма работы системы АБС (разработанного автором) он снижается на 98,69 % в сравнении с торможением только за счет фрикционных тормозов, хотя в таблице 14 (страница 154) при торможении за счет фрикционных тормозов (вариант ФБ) Jerk ITAE = 5,36, а в случае третьего варианта алгоритма управления Jerk ITAE = 1,49; и другие;

Представленные замечания не носят принципиального характера и не снижают общего положительного впечатления от представленной работы.

Заключение

Диссертационная работа Умницына Артёма Алексеевича, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполнена на актуальную тему и содержит решение научной задачи повышения показателей работы АБС за счет совместного использования фрикционных тормозных механизмов и электромашин, входящих в состав силового привода ведущих колес электромобилей и гибридных автомобилей.

Содержание и тема диссертационного исследования полностью соответствуют 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 транспортных средств» паспорта специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Настоящая диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Умницаин Артём Алексеевич достоин

присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Доктор технических наук (05.05.03),
доцент кафедры «Колесные машины»
ФГБОУ ВО «Московский
государственный технический
университет имени Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский
университет)»

Косицын
Борис
Борисович

Почтовый адрес: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, к.1

Тел: 8(499)263-61-40

e-mail: kositsyn_b@bmstu.ru

