

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор -  
проректор по научной работе  
и стратегическому развитию  
МГТУ им. Н.Э. Баумана



2020 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации - федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» на диссертацию Рязанцева Валентина Александровича «Метод совершенствования управления антиблокировочной системой автомобиля при индивидуальном регулировании тормозных механизмов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины

### 1. Актуальность темы исследования

Управляемость и устойчивость автомобиля являются важнейшими эксплуатационными свойствами автомобиля и составляющими активной безопасности движения. Улучшению этих свойств во всем мире автопроизводителями придается большое значение. Как известно, основным предназначением систем активной безопасности (САБ) является предотвращение аварийной ситуации. САБ автомобиля для режима торможения является антиблокировочная система (АБС), предназначенная предотвратить блокировку колес при торможении и, тем самым, сохранить управляемость автомобиля.

В этой связи, выбранное направление исследований, заключающееся в разработке новых принципов управления и совершенствовании алгоритмов работы АБС, является актуальной.

## **2. Структура и содержание работы**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении раскрыта актуальность темы исследования и степень ее разработанности, определены цель и задачи, сформулированы основные положения, обладающие научной новизной и выносимые на защиту, охарактеризованы методы исследований.

Первая глава **«Состояние вопроса, цель и задачи исследования»** посвящена анализу состояния проблемы, выполненному на основе обзора отечественных и зарубежных литературных источников, в которых рассмотрены современные подходы к управлению процессом торможения автомобиля, проведен анализ конструктивных и программных мероприятий совершенствования тормозной системы автомобиля.

Вторая глава **«Теоретическое исследование тормозного управления колесных машин»** посвящена исследованию процесса экстренного торможения двухосного автомобиля с учетом перераспределения вертикальных реакций опорной поверхности под колесами. Автором использован интегральный критерий качества «Максимальное быстродействие» с целью минимизации пройденного пути при торможении. Показано, что перераспределение вертикальных реакций оказывает существенное влияние на циклы управления АБС.

В третьей главе **«Математическая модель гидравлического привода»** приведено описание математической модели гидрообъемного тормозного привода с исполнительными механизмами АБС, позволяющей реализовывать изменение давления в тормозной системе автомобиля при торможении.

В четвертой главе **«Построение алгоритма АБС с учетом перераспределения вертикальных реакций»** предложен алгоритм связанного управления замедлением вращения колес двухосного автомобиля при торможении, учитывающий перераспределения вертикальных реакций опорной поверхности и позволяющий предотвращать наступление «блокировки» колес.

В пятой главе «**Экспериментальное и теоретическое исследование динамики торможения со связанным управлением**» представлены результаты математического и физического экспериментов, проведенных с целью верификации модели движения автомобиля в режиме торможения и оценки эффективности предложенного алгоритма связанного управления замедлением вращения колес двухосного автомобиля.

В заключении сделаны выводы, отражающие итоги исследования.

Содержание диссертации изложено в логически последовательной форме. Стиль изложения четкий и ясный.

Автореферат и публикации соискателя в полной степени отражают содержание диссертации, наиболее существенные положения, выводы и рекомендации. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК к кандидатским диссертациям.

### **3. Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

К основным результатам диссертационного исследования, обладающим научной новизной, относятся следующие положения и разработки соискателя.

1. Разработан метод расчета управления контура АБС с индивидуальным регулированием, который сформулирован с учетом взаимного влияния колес каждой оси через перераспределение вертикальных реакций, взаимодействия колеса с опорной поверхностью и является решением задачи оптимального управления в математической постановке.

2. Предложена математическая модель двухосного автомобиля с гидрообъемным тормозным приводом и исполнительными механизмами АБС, где используется функциональная зависимость расхода тормозной жидкости от давления в тормозных механизмах для формирования рабочих процессов гидравлического насоса АБС. Проведены дорожные эксперименты, подтверждающие адекватность разработанной математической модели.

3. Выполнено оригинальное исследование поиска скользящего режима управления, как решение общей задачи динамики, где измеряемыми

апробированных методах экспериментальных исследований и имитационного моделирования.

Таким образом, практически все выводы обоснованы и достоверны. Диссертация соответствует специальности 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины.

#### **4. Практическая значимость результатов**

Практическую значимость работы имеют следующие положения:

- на основании выполненных исследований созданы математические модели объемного гидравлического привода с исполнительными механизмами антиблокировочной системы и математическая модель объекта «автомобиль-колесо-дорога», которые обеспечивают их использование в расчетно-имитационном комплексе с применением технологии виртуально-физического моделирования для исследования тормозной динамики автомобиля;
- разработан алгоритм управления давлением рабочего тела в тормозных механизмах каждого колеса, который учитывает взаимное влияние колес каждой оси через перераспределение вертикальных реакций и взаимодействие колеса с опорной поверхностью при индивидуальном антиблокировочном управлении колесами автомобиля.

#### **5. Значимость результатов для науки и производства**

Диссертационная работа вносит определенный вклад в теорию и практику автомобилестроения:

- предложена новая стратегия антиблокировочного управления тормозной системой двухосных автомобилей при экстренном торможении, учитывающая перераспределение вертикальных реакций при взаимодействии колес с опорной поверхностью;
- разработан алгоритм определения неизвестных в математической модели, позволяющий применить иерархический метод расчетов при обеспечении автоматизации и сокращении времени на разработку модели объекта «автомобиль-колесо-дорога» для исследований тормозной динамики.

параметрами объекта управления являются угловые скорости колес и давление в контурах тормозного привода.

4. Предложен метод синтеза системы управления тормозными силами колесных машин, отличающийся тем, что учтено взаимное влияние колес каждой оси через перераспределение вертикальных реакций и взаимодействие колеса с опорной поверхностью при индивидуальном антиблокировочном регулировании в виде алгоритма с поворотными реверсами.

Вывод 1 диссертации, посвященный разработке метода расчета параметров и синтеза алгоритма управления тормозным контуром, является достоверным и базируется на математических методах классической теории оптимального управления.

Вывод 2 диссертации, посвященный разработке математической модели гидрообъемного тормозного привода с исполнительными механизмами АБС, позволяющей реализовывать изменение давления в тормозной системе автомобиля при торможении, является достоверным и базируется на применении апробированных методов расчета гидродинамических процессов и экспериментальных методов проверки адекватности математических моделей.

Вывод 3 посвящен разработке новой стратегии антиблокировочного управления при экстренном торможении, учитывающей перераспределение вертикальных реакций в пятнах контакта колес с опорной поверхностью. Вывод является достоверным и базируется на математических методах классической теории оптимального управления.

Вывод 4 о создании расчетно-имитационного комплекса моделирования движения автомобиля в программной среде MATLAB\Simulink является констатацией достигнутых в ходе выполнения работы результатов.

Вывод 5, посвященный результатам математического и физического экспериментов, проведенных с целью верификации модели движения автомобиля в режиме торможения и оценки эффективности предложенного алгоритма связанного управления замедлением вращения колес двухосного автомобиля при торможении, является достоверным и базируется на

## **6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Практические результаты диссертации рекомендуются к использованию в проектных и научных организациях при разработке тормозных систем колесных машин.

## **7. Замечания**

В целом диссертация Рязанцева В.А. заслуживает высокой оценки. В качестве недостатков может быть отмечено следующее.

- Использование критерия максимального быстродействия при проведении исследования процесса экстренного торможения двухосного автомобиля (глава 2 диссертации) вступает в противоречие с заявленными соискателем ранее необходимостью «обеспечения компромисса между эффективностью торможения и управляемостью/устойчивостью автомобиля... допускается снижение тормозной эффективности до 25%». Минимизация тормозного пути не предполагает борьбу с явлениями блокирования колес при торможении.
- Отсутствует явная взаимосвязь между результатами, полученными в главе 2 диссертации, и разработкой алгоритма управления (глава 4 диссертации).
- В главе 2 диссертации, посвященной разработке алгоритма работы АБС, алгоритм представлен в виде программных блоков SIMULINK, в то же время отсутствует общепринятый способ представления алгоритма в виде общей блок-схемы, пошаговых инструкций и т.п.

## **8. Заключение о соответствии работы требованиям ВАК**

Диссертационное исследование Рязанцева В.А. «Метод совершенствования управления антиблокировочной системой автомобиля при индивидуальном регулировании тормозных механизмов» является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научно-практической задачи, заключающейся в повышении активной безопасности автомобиля за счет

разработки метода синтеза системы управления тормозными силами колесных машин с учетом взаимного влияния колес каждой оси через перераспределение вертикальных реакций и взаимодействие колеса с опорной поверхностью при индивидуальном антиблокировочном регулировании. Работа выполнена на высоком уровне, соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Рязанцев В.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины.

Заключение принято на заседании кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана, протокол №36/19-20 от 13.07.2020 г.

Голосование: «За» - 28 чел., «Против» - нет, «Воздержались» - нет.

Заведующий кафедрой «Колесные машины»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
доктор технических наук (05.05.03),  
профессор

Г.О. Котиев

Профессор кафедры «Колесные машины»,  
доктор технических наук (05.05.03),  
доцент

~~ЗАМ.НАЧАЛЬНИКА УПРАВЛЕНИЯ КАФЕДРЫ  
Горелов~~

В.А. Горелов

~~МГТУ им. Н.Э. Баумана  
А.Г. МАТВЕЕВ~~

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский  
университет)» (ФГБОУ ВО МГТУ имени Н.Э. Баумана)

Адрес: Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Телефон: +7 (499) 261-1746; +7 (499) 263-6404

Факс: +7 (499) 263-6362

e-mail: bauman@bmstu.ru

<http://www.bmstu.ru>

Коробец Борис Николаевич

Котиев Георгий Олегович

Горелов Василий Александрович