О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Рязанцева Валентина Александровича на тему «Метод совершенствования управления антиблокировочной системой автомобиля при индивидуальном регулировании тормозных механизмов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

Официальный оппонент — кандидат технических наук
Кристальный Сергей Робертович

Актуальность избранной темы

Антиблокировочные системы (АБС), решая задачу оптимизации взаимодействия эластичного автомобильного колеса с опорной поверхностью в режиме экстренного торможения, являются одним из эффективных базовых средств активной безопасности автотранспортных средств, благодаря чему получили повсеместное применение в мировом автомобилестроении. Однако большинство современных АБС создано на базе компонентов иностранного производства.

Несмотря на значительный опыт разработки и эксплуатации антиблокировочных систем, используемых в гидравлическом приводе тормозных механизмов, большинство алгоритмов управления закрыто для изучения и исследования эффективности действия. Работа Рязанцева В.А. даёт предпосылки для создания и дальнейшего совершенствования алгоритмов управления АБС, эффективных в различных условиях эксплуатации, в том числе условиях, характерных для России.

Это приобретает особое значение в связи с тем, что антиблокировочная система является базовой для работы систем безопасности более высокого уровня, таких как системы электронного контроля устойчивости, системы автоматического экстренного торможения. Эффективность этих и многих других систем безопасности напрямую зависит от эффективности действия базо-

вого алгоритма управления АБС. Поэтому работы, направленные на дальнейшее изучение и повышение эффективности действия алгоритма управления АБС ещё долгое время будут оставаться актуальными.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Работоспособность представленного автором метода синтеза и расчёта контура тормозного управления при экстренном торможении с учетом взаимного влияния колес каждой оси через перераспределение вертикальных реакций и взаимодействие колеса с опорной поверхностью при индивидуальном антиблокировочном управлении подтверждается экспериментальными данными.

Применённые методы измерения гарантируют достаточную точность определения необходимых параметров. Испытания проведены с использованием высокоточной современной измерительной и регистрирующей аппаратуры. Принятые в работе допущения и ограничения обоснованы.

С математической точки зрения просчетов в выдвижении гипотез, новых понятий, логичности выводов, применяемых методов обработки данных не обнаружено.

Обоснованность результатов, выносимых соискателем на защиту, подтверждается согласованностью данных эксперимента и научных выводов. Положения теории опираются на признанные основы фундаментальных и прикладных научных дисциплин.

Достоверность и новизна результатов работы

В целом, результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями автомобильной отрасли. В качестве новых, наиболее значимых результатов диссертационной работы можно выделить следующие:

- разработан метод расчета управления контуром АБС при индивидуальном управлении колёсными тормозными механизмами, который сформулирован с учетом взаимного влияния колес каждой оси через перераспреде-

ление вертикальных реакций и взаимодействие колёс с опорной поверхностью. Этот метод является решением задачи оптимального управления в её математической постановке;

- предложена математическая модель двухосного автомобиля с гидрообъемным тормозным приводом, оснащённым АБС, и колёсными тормозными механизмами. В предложенной математической модели используется функциональная зависимость прокачиваемого объема тормозной жидкости от давления в тормозных механизмах для формирования рабочего процесса гидравлического насоса АБС. Проведены эксперименты, подтверждающие точность разработанной математической модели;

- выполнено исследование алгоритма поиска скользящего режима управления. При решении общей задачи динамики измеряемыми параметрами объекта управления являются угловые скорости колес и давление в контурах тормозного привода;

- Предложен метод синтеза системы управления тормозными силами колесных машин, отличающийся от известных методов, использующих модели одиночного колеса, 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 поверочными реверсами;

- предложен новый метод косвенной оценки влияния выбранного алгоритма работы АБС на устойчивость автомобиля при торможении, основанный на учёте запаса по реализации поперечной силы.

Основные результаты диссертации отражены в девяти печатных изданиях, четыре из которых в журналах, рекомендованных ВАК. Также работа проходила апробацию на семи различных конференциях, где получила общее одобрение специалистов.

Диссертационная работа В.А. Рязанцева состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (116 наименований) и двух приложений.

Полный объем диссертации составляет 164 страницы, включая 87 рисунков, и 11 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыта научная новизна и практическая значимость, дана общая характеристика работы, приведены сведения о её апробации и реализации результатов, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан анализ основных тенденций развития современного автомобилестроения в плане обеспечения оптимизации сцепления колеса с опорной поверхностью в тормозном режиме движения, раскрыта актуальность проблемы с точки зрения активной безопасности, обозначены пути её решения. Проведен анализ способов и устройств предотвращения блокировки колес автотранспортных средств при торможении. Подробно рассмотрены принципиальные схемы построения АБС. Описаны модификации основных базовых принципов построения алгоритмов управления АБС, основанных на взаимосвязи текущих параметров объекта управления. По результатам анализа определены преимущества и недостатки различных схем построения таких систем. Проведен анализ конструктивных и программных мероприятий совершенствования тормозного управления автомобиля, который иллюстрирует, что в научно-технической литературе формирование законов управления тангенциальными силами в зависимости от величины скольжения колеса происходит обособленно от управления тормозными силами при перераспределении вертикальных реакций. Изложены особенности процесса торможения двухосного автомобиля, оснащенного фрикционными тормозными механизмами и пневматическими шинами. Представлена стандартная математическая модель объекта управления «автомобиль-колесо-дорога».

Во второй главе проведено решение задачи экстренного торможения двухосного автомобиля с учетом взаимного влияния колес каждой оси через перераспределение вертикальных реакций и взаимодействие колеса с опорной поверхностью. Анализ решения задачи экстренного торможения проводится с использованием функции Гамильтона-Понтрягина. Проведенный анализ показывает, что поиск и реализация особых траекторий, независимо от рассматрива-

емой модели (плоская или пространственная), означает формирование такого вектора управления в цикле индивидуального регулирования АБС, который обеспечивает движение изображающей точки по дрейфующему экстремуму тангенциальной силы, связанному с взаимным влиянием колес каждой оси через перераспределение вертикальных реакций и взаимодействие колеса с опорной поверхностью.

Третья глава посвящена описанию математической модели гидрообъёмного тормозного привода с исполнительными механизмами АБС. Необходимость такой модели заключается в её использовании как части алгоритма управления АБС для контроля изменения давления рабочего тела. Представлены результаты натурных экспериментов, показавшие ошибку работы предлагаемой модели в сравнении с измеренным давлением в исполнительных механизмах в процессе работы гидравлического блока АБС менее 5%.

В четвёртой главе приведено описание разработанного алгоритма «связанного управления» колесами двухосного автомобиля, основанного на учете взаимного влияния колес каждой оси через перераспределение вертикальных реакций и взаимодействие колеса с опорной поверхностью. Универсальность разработанного решения достигнута путем применения модульного алгоритма «связанного управления», который позволяет независимо от реализованного решения АБС формировать поправки, вносимые в управление. Для решения задачи определения дрейфующего экстремума тангенциальных сил предложено использовать алгоритм определения очередности блокирования колес. Алгоритм «связанного управления» позволяет предотвращать резкие переходы скорости колеса от одного уровня к другому, а также уменьшать колебания скорости колеса около требуемого значения, и, как следствие, поддерживать скольжение колес ближе к оптимальной величине.

В пятой главе представлены результаты математического и физического экспериментов. Объектом исследования являлся один из прототипов проектов ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», оснащенный гидравлическим тормозным приводом с АБС. Приведен обзор разработанного расчетно-имитационного комплекса. Проведена экспериментальная проверка данных, полученных при использовании разработанного расчетно-имитационного комплекса. Моделирование дает расхождение с результатами натурных испытаний 10-15% (по па-

раметром угловой скорости колес), что обеспечивает достаточную точность при проведении сравнительных расчетов. Представлены результаты сравнительных исследований базового принципа АБС регулирования с индивидуальным управлением и результаты с применением блока «связанного управления» совместно с базовым алгоритмом управления АБС. Сравнение проведено на опорных поверхностях с различным уровнем сцепления.

Обнаруженные недостатки

1. В математических выкладках, в частности в формуле 5.6., не учитывается разница динамического радиуса передних и задних колёс. А в общем случае она может быть значительна. Так же не всегда учитывается возможное различие момента инерции передних и задних колёс. При этом в формуле 5.6. каждому колесу назначен свой момент инерции. Учитывать разницу моментов инерции правого и левого колеса одной оси представляется излишним.

2. В работе не приведены сведения об испытаниях эффективности действия предлагаемого алгоритма «связанного управления» на режиме перехода с опорной поверхности с высоким коэффициентом сцепления на опорную поверхность с низким коэффициентом сцепления, а также на режиме перехода с опорной поверхности с низким коэффициентом сцепления на опорную поверхность с высоким коэффициентом сцепления. Также не проведена оценка поведения предлагаемого алгоритма «связанного управления» при выполнении манёвра Сперанского (прыжок с трамплина, когда все колёса автомобиля отрываются от опорной поверхности и торможение начинается в полёте).

3. В работе не представлена оценка эффективности действия алгоритма «связанного управления» при движении по неровным опорным поверхностям. При движении по неровным опорным поверхностям вертикальные реакции на колёсах изменяются не только под влиянием перераспределения, вызванного замедлением, но и под действием неровностей. Изменение вер-

тикальных реакций на колёсах, вызванное преодолением неровностей опорной поверхности, может быть сравнимым и даже превосходить их изменение, вызванное замедлением. Также известны случаи полной потери эффективности действия АБС (отказ торможения) на неровных опорных поверхностях (булыжная мостовая, серия трамплинов и т.п.). В работе не приводится доказательств того, что новый предлагаемый алгоритм «связанного управления» не приведет к появлению склонности АБС к подобным «побочным» эффектам.

4. На рис. 5.6. и др. представлены экспериментальные данные, но не приведены условия проведения эксперимента. В частности, температурные условия, тип тормозной жидкости.

5. Модель φ-S диаграммы Пасейко (формула 5.7.) и график на рис. 5.7. справедливы только для твёрдых, не деформируемых, опорных поверхностей. В работе не приводится оценки эффективности действия алгоритма связанного управления на деформируемых грунтах (песок, гравий, снег). Эти сведения представляют как научный интерес, так и практическое значение.

6. В работе не оценивается возможное влияние установки зимних шипованных шин на эффективность действия предлагаемого алгоритма «связанного управления».

7. Отсутствуют экспериментальные данные, подтверждающие увеличение запаса по сцеплению в поперечном направлении при применении предлагаемого автором алгоритма «связанного управления» (представленные, в частности, в табл. 11). Результаты эксперимента по торможению в повороте в работе не представлены.

Заключение.

1. Диссертация соискателя В.А. Рязанцева «Метод совершенствования управления антиблокировочной системой автомобиля при индивидуальном регулировании тормозных механизмов» является научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научно-технической задачи по по-

вышению эффективности действия алгоритмов управления АБС, что, в свою очередь, приводит к общему увеличению безопасности автомобиля и дорожного движения в целом.

2. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, имеет элементы новизны, характеризуется теоретической и практической значимостью, соответствует п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней» и паспорту специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины». Отмеченные недостатки носят частный характер и не ставят под сомнение основные результаты работы и научные выводы.

3. Автореферат в достаточной степени отражает существо диссертационной работы.

4. Автор диссертационной работы Рязанцев Валентин Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины».

Официальный оппонент
Фамилия: **Кристальный** Имя: **Сергей** Отчество: **Робертович**
Учёная степень: **Кандидат технических наук**
Учёное звание: **Доцент**
Специальность: **05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»**
Место работы: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»**
Должность: **Доцент кафедры автомобили**
Контактные данные
e-mail: **sportauto@rambler.ru**
Телефон: **+7(499)155-08-04**
Адрес: **Россия, 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64**

Личная подпись Кристальный С.Р.

«10» августа 2020 г.

Подпись и учёную степень Кристального С.Р. заверяю.

Первый проректор Судоргин О.А.