

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное**  
**бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Ижевский государственный**  
**технический университет**  
**имени М.Т. Калашникова»**  
**(ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)**

Студенческая ул., д. 7, г. Ижевск, УР, 426069  
тел. (3412) 77-20-22, 58-88-52,  
77-60-55 (многоканальный)  
факс: (3412) 50-40-55  
e-mail: [info@istu.ru](mailto:info@istu.ru) <http://www.istu.ru>  
ОКПО 02069668 ОГРН 1021801145794  
ИНН/КПП 1831032740/183101001

Ученому секретарю диссертационного совета 31.1.008.01  
Курмаеву Р.Х.

125438, г. Москва, Автомоторная  
ул., д. 2

№

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу *Заватского Александра Михайловича «Методы активного распределения момента между осями полноприводного электромобиля»,* представленную на соискание ученоей степени кандидата технических наук по специальности 2.5.11 – Наземные транспортно-технологические средства и комплексы

Конкурентоспособность проектируемых автотранспортных средств (АТС) различного назначения достигается улучшением их потребительских и эксплуатационных свойств. Показатели устойчивости и управляемости, а также опорная проходимость существенно влияют на конкурентоспособность АТС, характеризуя безопасность движения и способность движения АТС в ухудшенных дорожных условиях. Известно, что одним из эффективных направлений улучшения указанных эксплуатационных свойств полноприводных АТС является оптимальное (наиболее рациональное) распределение врачающих моментов между ведущими осями. Особо остро стоит эта проблема у полноприводных электромобилей, у которых ведущие оси не связаны механическими агрегатами трансмиссии. Поэтому, **диссертационная работа** Заватского Александра Михайловича, направленная на разработку методов активного распределения врачающего момента по ведущим осям электромобиля для повышения курсовой устойчивости и управляемости двухосного полноприводного электромобиля и контроля буксования его ведущих колес, **является, безусловно, актуальной.**

**Ключевыми проблемами работы являются:** обзор и анализ современного состояния проблем исследования; анализ систем управления, повышающих устойчивость и управляемость колесной машины; разработка имитационной модели для тестирования функции распределения крутящего момента по осям электромобиля с двухмоторной схемой; разработка и реализация методов

распределения момента по осям электромобиля с двухмоторной схемой; исследование работоспособности предложенных алгоритмов работы функции распределения момента по ведущим осям двухмоторного электромобиля.

**Научная новизна** полученных результатов заключается:

- в разработке имитационной модели для тестирования функции распределения крутящего момента по осям электромобиля с двухмоторной схемой;
- в разработке нового комплексного метода повышения курсовой устойчивости, обеспечивающего целевую поворачиваемость автомобиля и возвращение курсовой устойчивости в случаях сноса и заноса;
- в разработке нового комплексного метода противодействия буксованию колёс, отличающимся применением функции подавления автоколебаний крутящего момента;
- в разработке научно-обоснованных рекомендаций, обеспечивающих повышение курсовой устойчивости и управляемости двухосного автомобиля и противодействие буксованию ведущих колес.

**Обоснованность правильности решения и достоверность** результатов исследований подтверждаются: корректностью применения теорий движения автомобиля, автоматизированных систем автомобиля, основных положений электроники и электротехники, а также теории испытаний агрегатов, узлов автомобиля и автомобиля в целом; методов математического анализа и математического моделирования, численных методов вычислительной математики, современного программного обеспечения ПЭВМ; согласованностью полученных результатов расчетных исследований с лабораторными и дорожными испытаниями.

**Значимость для науки и практики** результатов диссертационного исследования заключается в создании методов активного распределения момента между осями полноприводного электромобиля. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в научно-исследовательских, конструкторских и других организациях, занимающихся созданием двухосных полноприводных электромобилей по одному электродвигателю на каждую ось. Теоретические положения и практические рекомендации, изложенные в диссертации, могут быть использованы в учебном процессе при подготовке студентов ВУЗов по направления «Наземные транспортно-технологические комплексы».

### **Общее содержание диссертационной работы.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения по работе, списка сокращений, списка использованной литературы (124 наименования) и 2 приложений. Общее количество страниц в диссертационной работе 136.

**Введение** включает в себя актуальность работы; степень разработанности темы исследования; цель и задачи исследования; описание объекта и предмета исследования; описание задач исследования, методологии и методов диссертационного исследования; отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы; представлены положения, выносимые на защиту; описана реализация работы, степень достоверности результатов работы, апробация

работы, а также представлено описание количества публикаций по теме диссертации, структуры и объема диссертации. Т.е., представлена информация 3-7 страниц автореферата.

**В первой главе** анализируются системы управления, повышающие устойчивость и управляемость колесной машины, а именно: описана область исследования и указано, что в работе рассматриваются вопросы автоматического регулирования тягового усилия, реализуемого колесами; рассмотрены все основные типы трансмиссий полноприводных легковых автомобилей; рассмотрена кинематическая схема полного привода с раздаточной коробкой MAGNA PWT; отмечается, что для полноприводных транспортных средств с индивидуальным электромотором для каждой оси нет необходимости в межосевом дифференциале, и для них возможно более точное управление моментом. Далее, представлен анализ методов определения состояний курсовой устойчивости, которые разбиты на 4 направления: оценка угла дрейфа, оценка соотношений скоростей колес; оценка бокового ускорения; оценка скорости рыскания. Из этих направлений выбрано направление определения сноса/заноса путем сравнения целевой и актуальной скорости рыскания. Представлен анализ методов регулирования скорости рыскания, рассмотрена схема регулирования скорости рыскания, а также представлен анализ методов противодействия буксованию ведущих колес. Для контроля буксования ведущих колес проведен анализ запатентованного алгоритма обнаружения буксования ведущих колес автомобиля с ДВС и механической трансмиссией. Проведено сравнение этого алгоритма с другим алгоритмом контроля буксования ведущих колес – это применение методов контроля тяги. Представлен анализ методов оценки эффективности систем повышения курсовой устойчивости путем распределения момента. Заканчивается глава краткими выводами.

**Вторая глава** посвящена разработке имитационной модели для тестирования функции распределения крутящего момента по осям электромобиля с двухмоторной схемой с помощью интегрированной программной платформа компьютерного моделирования Simcenter Amesim (включая Matlab Simulink) и реализации модели на аппаратно-программируемом комплексе Labcar. В работе проведено испытание алгоритма управления в среде моделирования, используя для взаимодействия с алгоритмом модель объекта управления, а также выполнено испытание на взаимодействие блока управления с моделью объекта управления. Далее описана разработанная имитационная модель транспортного средства на основе программное обеспечение Simcenter Amesim. Центральной частью модели является блок, описывающий кинематические связи угловых и линейных скоростей с угловыми и пространственными координатами, полученными на основе уравнений связей между различными координатными системами. Далее идет описание программно-аппаратного комплекса. Проверка адекватности модельного комплекса колесной машины проведена по показателю (критерию) среднеквадратичного отклонения. Записи испытательных заездов для проверки работы разработанного модельного комплекса получены на целевом прототипе на барабанном стенде в НИЦИАМТ, на испытательных по-

лигонах НИЦИАМТ, г. Дмитров и автодроме АМК ФСО РФ в Старой Купавне. При этом в диссертации подробно описано применяемое измерительное оборудование. Заканчивается глава краткими выводами.

**В третьей главе** описана разработка и реализация методов распределения момента по осям электромобиля с двухмоторной схемой. Отмечается, что для создания данной системы необходимо: разработать общую структуру регулирования; разработать метод повышения курсовой устойчивости, включающий метод снижения вероятности потери курсовой устойчивости, метод автоматического обнаружения потери курсовой устойчивости и метод стабилизации движения путем перераспределения момента между активными осями при потере курсовой устойчивости; разработать метод противодействия буксованию ведущих колес, включающий в себя метод снижения вероятности буксования, метод автоматического обнаружения буксования и метод снижения буксования путем перераспределения момента между ведущими осями. Далее рассматривается метод определения состояния курсовой устойчивости двухосного автомобиля. В настоящее время определение состояния устойчивости движения автомобиля должно выполняться в основном на бортовом блоке управления двигателем на основе сигналов стандартного набора датчиков, работающих с системами ABS/ESC. Автор для дальнейших исследований выбрал метод определения состояния движения на основе оценки соответствия скорости рыскания положению руля. По результатам исследований было разработано ряд методов повышения: курсовой устойчивости (снижения вероятности потери курсовой устойчивости; автоматического обнаружения потери курсовой устойчивости; стабилизации движения путём перераспределения момента между активными осями при потере курсовой устойчивости); противодействия буксованию колёс (снижения вероятности возникновения буксования ведущих колёс, обнаружения буксования ведущих колёс, противодействия возникающему буксованию). Заканчивается глава краткими выводами.

**В четвертой главе** диссертации проведено исследование работоспособности предложенных алгоритмов работы функции распределения момента по ведущим осям двухмоторного электромобиля. Исследование эффективности работы метода противодействия буксованию ведущих колёс проведено: при криволинейном движении без буксования по гладкой поверхности и по заснеженной поверхности с рельефным опорным основанием, а также при движении с ускорениями с полной подачей газа на гладкой ледяной поверхности. При исследовании эффективности работы метода противодействия автоколебаниям было выполнено имитационное моделирование старта с полной подачей газа на поверхности с разными коэффициентами сцепления под передней и задней осью. Исследование работоспособности метода обнаружения сноса/заноса оценивалась при испытательных заездах на кольцевых участках с ледяной поверхностью. Эффективность метода повышения курсовой устойчивости оценивалась по результатам испытательных заездов на треке с высоким коэффициентом сцепления. Оценка маневра переставка проводилась на треке с ледяным покрытием и на поверхности, покрытой политым водой полимерным составом.

Результаты исследований показали, что предложенные в диссертации комплексный метод противодействия буксованию ведущих колёс и комплексный метод повышения курсовой устойчивости работоспособны и эффективны. Заканчивается глава краткими выводами.

**В Приложениях** представлено: Акт внедрения в «Московском политехническом университете»; Акт внедрения во ФГУП «НАМИ».

#### **Общие замечания по диссертационной работе:**

1. В названии диссертации нет действия. Диссертация должна начинаться словами «Разработка...», «Оптимизация...», «Создание...», «Совершенствование...» и т.п.

2. В диссертации разработана имитационная модель для тестирования функции распределения крутящего момента по осям электромобиля с двухмоторной схемой с помощью интегрированной программной платформа компьютерного моделирования Simcenter Amesim и реализации модели на аппаратно-программируемом комплексе Labcar. Непонятно каким образом учитывается изменяющийся коэффициент сцепления шин с полоном дороги при моделировании по разработанной имитационной модели.

3. Требуются пояснения, почему методы активного распределение запрашиваемого момента между осями полноприводного электромобиля, который разрабатывается с целью повышения курсовой устойчивости и противодействия буксованию ведущих колес, работают без ограничения запрашиваемого момента, т.е. без учета работы систем TCS и ESC. А как они будут работать совместно? Кто из них «главнее»?

4. Создание двухосных полноприводных электромобилей по одному электродвигателю на каждую ось существенно упрощает конструкцию электромобиля. Хотелось бы в диссертации видеть исследования, подтверждающие отсутствие циркуляции мощности (замыкание через дорогу). Может ли это привести к несинхронности работы электродвигателей?

5. Имеются опечатки, неточности в изложении исследований, например, уравнение расчета момента сопротивления качению автомобиля (2.12) на стр. 37 записано неверно; формула расчета аэродинамического сопротивления автомобиля (2.10) на стр. 37 записана неверно (нельзя путать коэффициент аэродинамического сопротивления воздуха с коэффициентом обтекаемости автомобиля) и др.

Отмеченные недостатки снижают качество исследований, но они не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

#### **Заключение.**

Диссертация является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, выполненной самостоятельно на высоком научном уровне. В диссертации изложены научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны, позволяющие повышать курсовую устойчивость и управляемость

двухосного автомобиля с колесной формулой 4×4, уменьшать вероятность буксования его ведущих колес путем активного распределения врачающего момента по ведущим осям электромобиля с двухмоторной схемой.

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа Заватского Александра Михайловича полностью отвечает требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о порядке ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

**В соответствии с вышеизложенным считаю, что диссертационная работа «Методы активного распределения момента между осями полноприводного электромобиля» отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК России, а ее автор, Заватский Александр Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.11 – Наземные транспортно-технологические средства и комплексы.**

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Автомобили и  
металлообрабатывающее оборудование»

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический  
университет имени М.Т. Калашникова»

Филькин Николай Михайлович;  
почтовый адрес: 426033, г. Ижевск,  
ул. Школьная, д. 8, кв. 81;  
тел. 8-912-448-17-01;  
e-mail: [fnm@istu.ru](mailto:fnm@istu.ru)

Докторская диссертация  
по специальности 05.05.03



/Н.М. Филькин/

13.11.23 г.

Подпись Н.М. Филькина удостоверяю:

Ученый секретарь

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»,  
доктор технических наук, профессор



/Н.С. Сивцев/

