

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Нижегородский государственный  
технический университет им. Р.Е. Алексеева»  
(НГТУ)

ПРОРЕКТОР ПО НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Минина ул., 24, г. Нижний Новгород, 603155  
Тел. / факс (831) 436-23-37  
E-mail: [aakurkin@nntu.ru](mailto:aakurkin@nntu.ru) [www.nntu.ru](http://www.nntu.ru)

ОКПО 02068137 ОГРН 1025203034537  
ИНН / КПП 5260001439 / 526001001

10.11.2023г. № 03-04/194

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
д.ф.-м.н., профессор



Куркин А.А.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ) на диссертационную работу Заватского Александра Михайловича «Методы активного распределения момента между осями полноприводного электромобиля», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.11 «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы»**

На отзыв представлены диссертация и автореферат. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и приложения. Работа изложена на 136 листах машинного текста. Автореферат диссертации изложен на 22 стр., включая список основных публикаций по теме исследования.

### *1. Актуальность темы*

Несколько последних десятилетий наблюдается поэтапное развитие автомобилей с электрическими и комбинированными энергоустановками (КЭУ). Наиболее высокая динамика распространения электротранспорта наблюдается в секторе легковых автомобилей. При этом востребованными являются как электромобили с приводом на одну ось, так и полноприводные варианты, обладающие повышенной проходимостью, а также более высоким уровнем свойств активной безопасности. При всем разнообразии компоновок трансмиссий электромобилей наиболее интересными являются те, где передняя и задняя ось не связаны друг с другом механической связью в виду того, что крутящий момент генерируется установленными электромоторами независимо на передней и задней оси или индивидуально на каждом колесе с помощью мотор-колес. В этом случае задача автоматического рационального распределения момента по осям или колесам автомобиля приобретает высокую актуальность и требует грамотного инженерного решения, основанного на результатах полноценных научных исследований, включающих глубокую теоретическую проработку, имитационное моделирование

соответствующих электромеханических процессов, натурные исследования отдельных компонентов и транспортных средств по соответствующим программам и методикам испытаний.

Именно такому вопросу посвящена диссертационная работа Заватского А.М., в которой главное внимание уделяется разработке методов активного распределения момента по осям двухосного электромобиля, обеспечивающего повышение курсовой устойчивости и управляемости и противодействие буксованию ведущих колёс.

С учетом вышеизложенного, тему работы следует признать актуальной, а выполненную работу соответствующей современным вызовам автомобилестроительной отрасли.

## ***2. Научная новизна диссертационного исследования***

Новизна выполненных автором исследований определяется следующими наиболее значимыми достижениями:

- Предложен новый комплексный метод повышения курсовой устойчивости двухосного полноприводного электромобиля, отличающийся применением комбинированного регулятора, обеспечивающего целевую поворачиваемость автомобиля, и способствующего возвращению курсовой устойчивости в случаях сноса, заноса и контрповорота путём перераспределения запроса момента между осями автомобиля.
- Предложен новый комплексный метод противодействия буксованию колёс двухосного полноприводного электромобиля, отличающийся применением функции подавления автоколебаний крутящего момента.

## ***3. Достоверность и обоснованность результатов и выводов***

Достоверность и обоснованность результатов исследований базируется на теоретических и экспериментальных исследованиях динамики электромобиля с полным приводом, а также на использовании апробированных методов имитационного математического моделирования.

Результаты диссертационной работы обобщены и представлены в разделе «Заключение». Все выводы обоснованы, базируются на корректно сформулированных исходных положениях и аргументированном анализе полученных результатов, а также подтверждены представленными в диссертации теоретическими разработками и натурными экспериментами, поэтому их достоверность и обоснованность сомнений не вызывают.

## ***4. Теоретическая и практическая значимость результатов работы***

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в развитии методов определения законов активного распределения крутящего момента между осями полноприводного электромобиля.

Практическая значимость результатов работы заключается в следующем:

1. Разработанные методы реализованы и внедрены в структуру программного обеспечения транспортного средства с КЭУ, спроектированного во ФГУП «НАМИ».
2. Представленный в диссертации комплекс методов разработан для электромобилей с индивидуальным приводом на каждую ось, однако с некоторыми изменениями может быть использован и в составе других типов двухосных транспортных средств, как с электроприводами, так и с ДВС с управляемыми системами распределения момента.

Таким образом, настоящее диссертационное исследование представляет ценность как для ученых, интересующихся изучением специальных глав теории автомобиля, так и для инженеров-конструкторов, занимающихся проектированием полноприводных электромобилей.

## **5. Оценка содержания диссертации**

**Во введении** представлено обоснование актуальности выбранной темы; сформулированы цель работы и задачи исследования; показаны научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость; описаны основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** диссертации представлен анализ систем распределения момента легковых полноприводных автомобилей. Автором рассмотрены известные методы определения состояний курсовой устойчивости, методы регулирования скорости рыскания, методы противодействия буксованию ведущих колёс, а также методы оценки эффективности систем повышения курсовой устойчивости путём распределения момента. Отдельное внимание уделено методам проведения натурных испытаний транспортных средств с электроприводом и определением показателей их эффективности.

**Во второй главе** представлено описание разработанной автором имитационной модели для тестирования алгоритмов распределения крутящего момента. Дана информация о модели транспортного средства, описан использованный в работе программно-аппаратный комплекс. Представлены сведения о результатах проверки адекватности модельного комплекса колесной машины. Описано использованное для проверки адекватности измерительное оборудование, даны результаты, полученные при заезде по циклу WLTC, а также при маневрах «переставка» на сухом асфальте и на мокром полимерном покрытии. Показаны результаты оценки адекватности модели при следовании траектории с переменной скоростью до 80 км/ч.

**В третьей главе** автор работы приводит описание выполненных процессов разработки и реализации методов распределения момента по осям электромобиля с двухмоторной схемой. Описано базовое распределение момента, предложен метод определения состояния курсовой устойчивости двухосного электромобиля. Автор дает подробное описание регуляторов с обратной связью по ошибке скорости рыскания, с прямой связью по положению руля, а также с обратной связью по ошибке разницы скоростей осей. В завершении главы автор представляет описание функции противодействия автоколебаниям.

**В четвертой главе** приводится описание проведенного автором исследования работоспособности предложенных алгоритмов работы функции распределения момента по осям двухмоторного электромобиля. Дается описание результатов исследования эффективности работы метода противодействия буксованию ведущих колёс, метода противодействия автоколебаниям, предложенного метода распределения момента на поворачиваемость автомобиля, а также работоспособности метода обнаружения сноса/заноса. Выполнено исследование эффективности метода повышения курсовой устойчивости. Представлены результаты натурных испытаний автомобиля с электроприводом на трекке с ледяным покрытием, а также на мокром полимерном покрытии.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы по работе.

В конце работы представлен **список сокращений** и **список литературы** (124 источника).

В **приложении** представлены сканы двух актов внедрения результатов научного исследования: во ФГУП «НАМИ», при разработке прототипов автомобилей на электротяге проекта ЕМП, и в учебный процесс ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет».

## **6. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации и совместно с опубликованными работами в полной мере отражает ее содержание.

## 7. Замечания по диссертации и автореферату

1. В первой главе диссертации в разделе 2.1 представлено описание имитационной модели транспортного средства, которую автор впоследствии использует в своих исследованиях. Из описания видно, что модель является весьма подробной, учитывающей большое количество параметров. Скорее всего, модель разработана каким-то коллективом инженеров-исследователей, а не единолично автором. В этой связи не хватает ссылки на публикации тех авторов, которые причастны к созданию такой модели. Если имеется какой-либо вклад автора в создание представленной модели, то хотелось бы понять, в чем конкретно он заключается. Аналогичное замечание можно высказать по разделу 2.2, где приводится описание используемого программно-аппаратного комплекса.
2. Сведения, представленные в разделе 2.3 второй главы диссертации показывают высокую степень соответствия поведения имитационной модели при различных маневрах реальному транспортному средству – опытному полноприводному автомобилю с электрической трансмиссией на базе AURUS Senat. Очевидно, что такой результат достигнут не только за счет подробной имитационной модели, но также за счет грамотного выбора и обоснования параметров модели (константы, зависимости и пр.). Следует предположить, что ранее был выполнен большой объем работ по определению характеристик шин, кинематических и упругодемпфирующих свойств элементов подвесок, инерционных свойств поддрессоренных и неподдрессоренных масс и др. Хотелось бы видеть в тексте диссертации ссылки на публикации либо диссертаций (при их наличии), в которых приводится описание исследований, по результатам которых определялись исходные данные для модели.
3. В третьей главе диссертации при описании отдельных структурных элементов функции распределения моментов между осями автомобиля автор относительно часто пишет, что «зависимость... определена эмпирически на целевом прототипе» (стр. 61, 75, 81 диссертации). Нет никаких сомнений, что автором получены данные зависимости, но хотелось бы, чтобы они были представлены в тексте диссертации, поскольку представляют реальный научно-практический интерес и, по сути, являются основным результатом автора диссертации.
4. В разделе 4.1 четвертой главы диссертации на рисунке 4.1 (стр. 93) указан интервал времени  $t_2$ , представленный как «криволинейное движение по рельефной заснеженной поверхности». Далее на рисунках 4.2-4.4 представлены результаты, полученные при «испытании стартом с полной педалью газа ... на скользкой поверхности». Не очень понятно, что именно понимается под скользкой поверхностью (мокрый асфальт, снег, лед) и каким именно было движение – прямолинейным или криволинейным?
5. На рисунке 4.13 (стр. 103 диссертации) показано сравнение характеристик поворачиваемости автомобиля, полученных экспериментальным путем для двух вариантов: с распределением запроса момента по осям 50/50 и с активной функцией распределения момента, предложенной автором диссертации. Видно, что второй вариант является предпочтительным, поскольку позволяет корректировать характеристику поворачиваемости автомобиля. Тем не менее, из текста диссертации не понятно, каковы границы применимости новой функции? Как сильно может быть расширена линейная зона характеристики? Только в пределах  $0,1g$  или же потенциал функции более значительный?
6. В подразделе 4.5.1 четвертой главы диссертации сообщается, что «...использование разработанной функции повышения курсовой устойчивости повышает эффективность на

8%» (стр. 110 диссертации). Не совсем понятно, на сколько это увеличивает скорость движения автомобиля на маршруте (на треке с ледяным покрытием)?

Следует отметить, что указанные недостатки не затрагивают научных основ диссертационной работы. Исследования выполнены на высоком научно-техническом уровне, по научной новизне и практической значимости отвечают требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

#### **8. Соответствие научной специальности**

Содержание диссертации соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.5.11 – «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы»:

- п.2. Методы расчета и проектирования, направленные на создание новых и совершенствование существующих транспортно-технологических средств и их комплексов с учетом полного жизненного цикла изделий, обладающих высоким качеством, в том числе повышенными показателями экономичности, надежности, производительности, экологичности и эргономичности, обеспечивающих энергоэффективность и безопасность эксплуатации;
- п.5. Математическое моделирование рабочих процессов транспортно-технологических средств, в том числе в их узлах, механизмах, системах и технологическом оборудовании при взаимодействии с опорной поверхностью и с рабочими средами (объектами).

#### **9. Рекомендации по использованию результатов и выводов по работе**

Результаты диссертационного исследования имеют теоретический характер и могут быть использованы учеными для развития законов управления крутящим моментом между осями полноприводного электромобиля.

Вместе с этим, результаты и выводы диссертации могут быть рекомендованы к использованию автомобильными инженерами, работающими в организациях автомобилестроительной отрасли, занимающихся проектированием и испытаниями новых конструкций трансмиссий для транспортных средств с электроприводом.

#### **10. Подтверждение публикации основных результатов работы в научных печатных изданиях**

По теме диссертационной работы опубликовано 6 печатных работ в журналах, из которых 3 публикации в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 в издании, входящем в базу цитирования WoS и 1 в базу цитирования Scopus. В данных работах в полной мере изложены основные результаты диссертации, при этом в них автору принадлежат основные научные идеи, теоретические и прикладные разработки, заключения и выводы.

#### **11. Заключение**

Диссертационная работа является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, связанной с разработкой методов активного распределением момента между осями полноприводного электромобиля. Диссертационное исследование имеет значение для развития автомобильной отрасли страны. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Автореферат диссертации соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России и в основном соответствует содержанию работы.

Выполненное исследование отвечает паспорту научной специальности 2.5.11 «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы» и соответствует критериям оценки кандидатских диссертационных работ, изложенным в пп. 9...11, 13, 14 Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней». Автор диссертации «Методы активного распределения момента между осями полноприводного электромобиля» Заватский Александр Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.11 «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы».

Настоящий отзыв рассмотрен и единогласно одобрен на заседании кафедры «Автомобили и тракторы» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (протокол №25 от 30.10.2023 г.).

Отзыв ведущей организации утвержден на заседании Научно-технического совета НГТУ (протокол №3 от 07.11.2023 г.).

Начальник управления научно-исследовательских и инновационных работ НГТУ  
Профессор кафедр «Автомобили и тракторы» и «Строительные и дорожные машины»  
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
доктор технических наук, профессор



Беляков Владимир Викторович

Почтовый адрес:

603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, НГТУ

телефон: +7 (831) 436-21-10; e-mail: belyakov@nntu.ru

докторская диссертация по специальности 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины».

Профессор кафедр «Автомобили и тракторы» и «Строительные и дорожные машины»  
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
доктор технических наук, профессор



Макаров Владимир Викторович

Почтовый адрес:

603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, НГТУ

телефон: +7 (831) 436-01-59; e-mail: vladimir.makarov@nntu.ru

докторская диссертация по специальности 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины».

Заведующий кафедрой «Автомобили и тракторы»  
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
кандидат технических наук,  
доцент



Тумасов Антон Владимирович

Почтовый адрес:

603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, НГТУ

телефон: 8 (831) 436-73-63; факс: 8 (831) 436-23-56; e-mail: anton.tumasov@nntu.ru

кандидатская диссертация по специальности 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины».