

Учёному секретарю
диссертационного совета 31.1.008.01
при ФГУП «НАМИ»
кандидату технических наук, доценту
Курмаеву Р.Х.
Россия, 125438, г. Москва,
ул. Автомоторная, д.2

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук Дьякова Алексея Сергеевича
на диссертацию Климова Александра Владимировича
на тему: **«Методология повышения эффективности электробуса на основе синтеза законов управления электромеханической силовой передачей»**,
представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности: 2.5.11 – «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы»

1. Актуальность темы диссертационной работы

Опыт испытаний и эксплуатации перспективных колёсных машин, оснащённых электромеханическими силовыми передачами и электрохимическими источниками энергии, таких как электробусы показывает их недостаточную энергоэффективность в следствие высокого удельного расхода энергии, а также высокую динамическую нагруженность, ограничивающей долговечность деталей и увеличивающей потери энергии. Поэтому исследователи и разработчики предлагают всё более сложные конструкции электромеханических силовых передач, а также методы управления ими.

Проектирование выше указанных машин ведётся в условиях ужесточающихся требований по массе и габаритным размерам, предъявляемым к элементам силовых передач и источников энергии, эффективности, при обеспечении требуемого уровня динамической нагруженности, а для таких машин как электробусы эргономичности и комфортабельности.

Разработка данных машин требует новых подходов к исследованию и разработке систем и агрегатов с учётом особенности условий эксплуатации, созданию методов управления поскольку известные методы не в полной мере учитывают динамические особенности рабочего процесса в современных электромеханической силовой передаче с использованием передовых средств математического моделирования и программно-аппаратного обеспечения.

Известные методы управления силовой передачей используемые в электрифицированных транспортных средствах не позволяют добиться приемлемого уровня удельных энергозатрат на 1 километр пути или требуют для их функционирования значительных вычислительных мощностей, которые отсутствуют на борту, а также зависимы от количества и качества данных об условиях движения и функционирования машины, которые не всегда доступны, либо требуют значительного количества регистрирующих устройств и

оборудования для реализации связи, что в значительной мере усложняет конструкцию и увеличивает стоимость. Поскольку интерес к эксплуатации данной техники всё увеличивается и по прогнозам не будет снижаться необходима разработка научно обоснованных принципов и методов управления лишённых вышеуказанных недостатков.

Широкое внедрение в различные системы транспортных машин электромеханических передач подталкивает исследователей

Динамическая нагруженность электромеханического привода ведущих колёс в значительной степени определяется малоизученными нелинейными динамическими явлениями – в частности возбуждением нелинейных высокоинтенсивных колебаний (автоколебаний), проявлением возбуждающего действия электронных систем управления и особенностями процесса электромеханического преобразования тягового электродвигателя. В электромеханических силовых передачах ввиду высокой (вплоть до абсолютной) жёсткости естественной механической характеристики, незначительной связи механической части передачи с электромагнитной, малой инерционности электроприводов, отсутствие в конструкции элементов способных рассеивать энергию колебаний вероятно возникновение колебаний в тех случаях, когда в известных механических системах колёсных машин они не возникают. Существующие принципы и методы управления электромеханическими силовыми передачами не в полной мере учитывают данные эффекты. С другой стороны, высокое быстродействие электропривода, особенности прямого управления крутящим моментом позволяют использовать данные свойства как для повышения энергоэффективности, так и снижения нагруженности машин, а также для повышения других качеств.

В связи с этим решение проблемы повышения комплексной эффективности за счёт улучшения энергоэффективности при уменьшении удельного расхода энергии на движение и снижения динамической нагруженности электромеханической силовой передачи колёсных машин таких как электробусы несомненно является важной и актуальной задачей. А диссертация Климова А.В., направленная на разработку научно обоснованных принципов повышения комплексной эффективности электробусов на основе применения методов управления рабочим процессом электромеханической силовой передачи с учётом перечисленных выше и неисследованных ранее нелинейных эффектов, особенностей функционирования передачи является актуальной.

2. Оценка содержания и завершённости диссертации

Диссертационная работа Климова А.В. состоит из введения, 9 глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 408 страницах, включает в себя введение, 9 глав, заключение, список литературы, состоящий из 461 источника, списка используемых сокращений, приложений на 29 страницах.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** работы автор рассматривает перспективы, проблемы, ограничения для развития электрифицированного транспорта. Приводится анализ современных тенденций развития технических характеристик компонентов электромеханических силовых передач, источников энергии, методов управления. Рассматриваются принципы управления тяговыми и тормозными усилиями на колёсах транспортных средств (АБС, ПБС и пр.), а также природа и причины возникновения нелинейных механических колебаний (автоколебаний) в различных системах, применяемых в различных отраслях промышленности, в том числе в транспортной сфере. Формулируется научная проблема, заключающаяся в недостаточности научно обоснованных принципов и методов управления электромеханической силовой передачей, позволяющих увеличить комплексную эффективность за счёт увеличения энергоэффективности и снижения динамической нагруженности. Завершается глава постановкой цели и задач исследования.

Во **второй главе** представлено описание и программная реализация в MatLab Simulink математическая модель пространственного движения колёсной машины с электромеханической силовой передачей по недеформируемому неровному опорному основанию, позволяющая исследовать пространственное движение и рабочей процессы систем электробуса, включающая математическую модель системы поддрессирования, тягового электропривода, состоящего из тягового электродвигателя и инвертора, перезаряжаемой системы хранения электрической энергии, взаимодействия колеса с опорным основанием, а также неровностей опорной поверхности. Приведено описание исследуемого транспортного средства: электробуса большого класса КАМАЗ 6282, электромеханической силовой передачи: электропортального моста привода задних ведущих колёс и сравнение результатов математического моделирования с натурным экспериментом показывающее адекватность математической модели для описания параметров рабочего процесса электромеханической силовой передачи, движения машины.

В **третьей главе** представлена обработка статистических данных о режимах эксплуатации пассажирского транспорта на различных маршрутах. Автором предложен принцип и изложены практические рекомендации по определению типа тягового электродвигателя на основе этих данных даны заключающиеся в обеспечении расположения наиболее вероятных режимов работы в области максимального КПД. В главе приведены рекомендации по выбору параметров тягового электропривода для электробусов большой вместимости: максимальная и номинальная частоты вращения, максимальный и номинальный крутящий момент. Отмечены также рекомендации по выбору габаритных размеров электродвигателя. Приведено описание методики определения параметров силовой передачи, обеспечивающих выполнение технических требований к машине.

В **четвёртой главе** предложены подходы к оценке ряда параметров рабочего процесса электромеханической силовой передачи при движении транспортного средства: момента сил сопротивления приведённых к валу тягового

электродвигателя в процессе управления, при котором происходит расчёт значения при нулевых значениях угловой разности угловых скоростей заданной и измеренной с использованием пропорционально-интегрального регулятора; электромагнитного крутящего момента развиваемого двигателем на основе энергетического метода, основанного на расчёте потребляемой мощности и мощности потерь; загруженности (массы) машины при сопоставлении определённых моментов сопротивления и реализуемого двигателем, воздействий водителя на педаль и измеренного ускорения; скольжения ведущих колёс в тяговом режиме, торможении с помощью рекуперации в том числе при криволинейном движении.

В пятой главе представлено исследование электромеханической силовой передачи электробуса на предмет возникновения упругих механических крутильных колебаний; установлено, что в них из-за высокой жёсткости элементов передач в следствие высокой компактности конструкции могут возникать лишь высокочастотные резонансы с малыми амплитудами возмущающих воздействий не приводящим к выходу из строя деталей. Исследованы колебаний крутящего момента на валу тягового электродвигателя причинами которых является периодическое изменение параметров электромагнитного поля при работе; показано что их возмущающие воздействия также не значительны.

Проводится анализ возникновения в электромеханической силовой передаче нелинейных высокоинтенсивных колебаний в том числе переходящих в автоколебания с использованием критерия Бендиксона на основе системы с тремя степенями свободы. Рассматриваются ведущий и тормозной режим работы с частичным и полным скольжением колеса относительного опорного основания. С помощью диагностического критерия L определяется характер возбуждения: мягкий или жёсткий. Показано, что для поступательного движения кузова и вращательного движения вала ротора электродвигателя в любых режимах могут возбуждаться данные колебательные процессы. В ведущем режиме качения колеса, при полном скольжении они также возбуждаются для вращательного и поступательного движения и в тормозном режиме для вращательного движения вне зависимости от способа торможения с мягким характером; при полном скольжении (блокировке) для поступательного движения с жёстким. Колебания возбуждаются в случае уменьшения сил взаимодействия колеса с дорогой, сопровождаемого ростом скорости его скольжения с последующим увеличением сил.

Представлены результаты математического моделирования движения электробуса при разгоне и торможении в повороте на опорном основании с низкими сцепными свойствами подтверждающие возможность возникновения нелинейных высокоинтенсивных колебаний вплоть до автоколебаний. Установлено, что данные явления возбуждаются ранее и имеют большую амплитуду для электромеханической силовой передачи разгружаемого борта из-за уменьшения нормальной нагрузки и реакций в пятне контакта колеса с дорогой. При анализе результатов математического моделирования и экспериментальных данных показано что возбуждаемые колебания синхронизируются с колебаниями нормальной нагрузки на колесо и, следовательно, реакций в пятне контакта,

которые доставляют дополнительную колебательность рабочему процессу силовой передачи. Отмечено, что интенсивность и частота колебаний увеличивается с ростом скольжения колеса.

Приведены результаты регистрации высокоинтенсивных колебательных явлений, возникающих в электромеханической силовой передаче электробуса в ведущем и тормозном режиме работы в условиях, приближенных к эксплуатационным и характеризующимся движением по дорогам с низким сцеплением. Отмечается что при возбуждении колебаний скорость изменения момента на оси колеса превышает допустимые значения.

В шестой главе предложен принцип снижения динамической нагруженности электромеханической силовой передачи при подавлении или предотвращении зарождения, развития высокоинтенсивных нелинейных с колебаний, который основан на поддержании устойчивости движения её элементов. Рассматривается устойчивость работы силовой передачи по 2 методу Ляпунова при управлении с использованием функции Ляпунова в виде квадратичной формы фазовых переменных, которая положена в основу метода управления. Он основан на введении в уставку запрашиваемого момента, тягового ли рекуперативного, которую должен реализовать тяговый электрический привод рассчитанного значения диссипативного момента «вязкого трения», корректирующего уставку, зависящего от угловой скорости, жёсткости, инерции передачи и оценки скольжения колеса. При этом обеспечивается выведение энергии, провоцирующей возбуждение колебания из системы. Сформирован алгоритм расчёта уставок по моменту для колёс. Проведены результаты проверки работоспособности и эффективности метода управления с помощью математического моделирования и оценка эффективности представленного метода управления по критериям относительных пиковых значений амплитуд колебаний крутящего момента и угловой скорости.

Седьмая глава посвящена обоснованию принципа повышения энергоэффективности, заключающегося в снижении потерь энергии и увеличении её рекуперации за счёт применения метода однопедального управления, при котором осуществляется определение границ режимов функционирования передачи, формирование уставок крутящего момента электродвигателя по S-образным полиномиальным зависимостям с учётом воздействий (нажатия, отпущения) водителя на педаль акселератора.

Значения уставок, определяющих переход между режимами рекуперации, выбега и тягового, зависят от скорости, загруженности машины, а функция, связывающая степень нажатия на педаль, обеспечивает неразрывность производной крутящего момента при переходе между указанными режимами. В главе обосновываются значения положения педали определяющие границы переходов между режимами, а также приводится описание формирования полиномов, реализующих зависимости. Форма полиномов, образующих зависимости обеспечивает минимизацию нарастания удельного усилия на колесе. При управлении также обеспечивается переход между рабочими точками по траектории движения изображающей точки на плоскости в координатах крутящий момент-частота вращения в области максимально возможного КПД.

Представлена оценка работоспособности подхода, а также сформирован закон перехода между уставками крутящего момента при изменении положения педали газа, позволяющий дольше использовать режимы работы в зоне повышенного КПД. Дана сравнительная оценка энергоэффективности движения по заданному ездовому циклу в случае классического двухпедального и предлагаемого однопедального управления.

В **восьмой главе** представлены результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности метода управления электромеханической силовой передачей снижающего её динамическую нагруженность, заключающихся в проведении сравнительных заездов электробуса, оснащённого и не оснащённого им. Проведены натурные испытания, связанные с разгоном и торможением на скользком опорном основании, а также при старте с места на подъёме. По результатам экспериментов показано что применение метода управления позволяет обеспечить снижение амплитуд возмущающих воздействий и как следствие динамической нагруженности в том числе электрооборудования.

В **девятой главе** представлены результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности применения метода однопедального управления рабочим процессом электромеханической силовой передачи. Исследования заключались в проведении сравнительных заездов машины в условиях, приближенных к эксплуатационным оснащённой однопедальным методом управления и с классическим управлением с последующим сравнением удельного расхода энергии на движение. Результаты исследований подтверждают эффективность разработанного метода управления. В процессе исследований подтверждено отсутствие задействования пневматической тормозной системы, увеличение тока рекуперации, снижение потребляемого тока, а также исключение возбуждения колебаний при изменении режимов движения.

Диссертационная работа имеет целостный и завершённый характер, основные результаты и выводы соответствуют её содержанию. Автореферат отражает основное содержание диссертации. Изложенные автором в диссертации материалы, результаты теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о его высокой научной компетенции, умении применять в исследованиях основные положения многих общенаучных и технических дисциплин. Автор провел в большом объёме расчёты, участвовал в проведении трудоёмких экспериментов, результаты которых подтверждают сделанные теоретические выводы и обобщения.

3. Степень достоверности и обоснованности, новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Автором на защиту выносятся основные результаты и выводы, а также положения научной новизны и практической значимости диссертационного исследования.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в:

- разработке нового адаптивного метода оценки момента сил сопротивления, приведённых к колесу в системе «ЭМСП колёсного ТС - колесо - дорога», отличающегося от известных тем что он позволяет определять значение в

процессе управления силовой передачей, доставляющего нулевые значения фазовым координатам, и минимизации квадратичного функционала интегрального типа при движении машины, которое может быть использовано в дальнейшем для оценки условий движения и определения дальнейших управляющих воздействий;

– установлении новых закономерностей динамической нагруженности агрегатов электромеханической силовой передачи колёсной машины, отличающихся учётом малоизученных эффектов возбуждения нелинейных высокоинтенсивных колебаний вплоть до установления автоколебаний при интенсивных разгонах и торможениях с повышенным скольжением колёс, частота которых зависит от степени скольжения и синхронизируется с колебаниями нормальной нагрузки на колесо при движении по неровном опорном основании;

– в разработке научно-обоснованного принципа снижения динамической нагруженности, заключающийся в обеспечении устойчивости движения тел в системе «электромеханическая силовая передача колёсного ТС - колесо - дорога» за счёт предотвращения или недопущения поступления энергии, провоцирующей возбуждение колебаний, при управлении на основе метода, заключающегося во введении в расчёт уставки крутящего момента для её корректировки значения диссипативного момента «вязкого трения», зависящего от характеристик системы как управляющего фактора при детектировании повышенного скольжения (патент РФ на изобретение № 2797069);

– в разработке научно обоснованного принципа повышения энергоэффективности колёсной машины при уменьшении удельных энергозатрат на 1 километр пройденного пути, заключающегося в уменьшении удельного расхода энергии на движение при снижении потерь энергии за счёт увеличения КПД и рекуперации энергии основанного на комплексном подходе заключающимся как в применении энергоэффективных агрегатов, отвечающих условиям эксплуатации машины, так и в использовании метода однопедального управления без воздействий на педаль тормоза, обеспечивающего минимизацию нарастания удельного усилия (исключения перерегулирования), при переходах между режимами работы в областях карты КПД с максимально возможным значением КПД перехода, реализацию всех рабочих замедлений только за счёт рекуперативного торможения, движение в режиме выбега с рекуперативным торможением, имитирующим торможение двигателем, обеспечение плавного перехода между режимами движения без всплесков колебаний, динамических ударов в пределах зазора в зацеплении (патент РФ на изобретение № 2799275);

– в разработке нового метод синтеза S-образных кривых зависимости крутящего тягового и рекуперативного моментов от положения педали хода по заданным краевым и граничным условиям, основан на стыковке полиномов по значению и величине производных, обеспечивает плавное его изменение, особенно в областях нулевого значения углового ускорения вала ТЭД и нулевой скорости ТС, что особенно важно для колёсных машин, эксплуатируемых в городской черте, движение которых сопровождается частыми изменениями режимов и интенсивным воздействием на педаль акселератора.

Необходимо отметить, что новизна технических решений подтверждена патентами РФ на изобретения и полезные модели.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается:

В повышении комплексной эффективности колёсных транспортных средств с электромеханическими силовыми передачами как на этапе проектирования, так и их модернизации при снижении динамической нагруженности и увеличения энергоэффективности.

Разработанные автором метод однопедального управления рабочим процессом электромеханической силовой передачи на основе S-образных зависимостей момента от положения педали акселератора; метод управления обеспечивающий подавление высокоинтенсивных колебаний; методы адаптивного наблюдения за ключевыми параметрами рабочего процесса; методика и практические рекомендации по выбору и расчёту основных характеристик агрегатов; результаты статистической обработки данных об эксплуатации электробусов позволяют на высоком научно-техническом уровне решать задачи снижения динамической нагруженности, повышения энергоэффективности энергосиловых блоков колесных и машин, различных электромеханических силовых передач.

Подтверждением этого являются акты внедрения разработчиков и производителей перспективных машин с электромеханическими силовыми передачами, а также разработчиками и производителями транспортных тяговых систем.

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждается:

– результатами экспериментальных исследований, актами о внедрении на промышленных предприятиях, в том числе НТЦ ПАО КАМАЗ, ООО «Инновационный центр КАМАЗ», АО «КАМА», АО ПО «Муроммашзавод», ООО «НПФ ИРБИС», ООО «НПФ АрсТерм», ООО «Ампермагнит», ООО «Силовая электроника», ФГБОУ ФО ИРНИТУ;

– корректностью формулировки цели, постановки задач исследования, применяемых методов, изложенных в фундаментальных трудах отечественных и зарубежных учёных: нелинейной теории колебаний, динамического анализа сложных мехатронных систем, численных методов решения систем дифференциальных уравнений, теории транспортных машин, теории управления системами, управления электроприводом, теории электромеханических преобразователей, экспериментальных исследований свойств транспортных средств и их систем. При решении поставленных задач эффективно используются результаты имитационного моделирования на ЭВМ и экспериментальных исследований.

Таким образом, по результатам анализа научных положений, выносимых автором диссертационного исследования на защиту, можно сделать заключение, что они обладают научной новизной, а выводы и рекомендации являются обоснованными.

4. Теоретическая и практическая ценность работы

Диссертационная работа отличается высоким уровнем теоретических разработок и большим объемом экспериментальных исследований, совокупный результат которых расширяет научное знание в области теории и практики

проектирования колёсных транспортных средств с электромеханической силовой передачей, их агрегатов, методов управления.

Теоретическая ценность диссертационной работы состоит в развитии теории создания колёсных машин и теории рабочего процесса электромеханических силовых передач в части, касающейся обоснования и разработки принципов, методов снижения и обеспечения требуемого уровня динамической нагруженности электромеханических силовых передач на основе введение в расчёт уставки крутящего момента управляющего фактора в виде диссипативного момента «вязкого трения» её корректирующего, что обеспечивает выведение энергии провоцирующей возбуждение колебаний; принципов и методов повышения энергоэффективности на основе снижения потерь энергии за счёт совершенствования рабочего процесса при минимизации нарастания удельного усилия, переходе между режимами в областях большего КПД с учётом плавного изменения момента в окрестностях области нулевой угловой скорости двигателя, реализации движения на выбеге и всех замедлений только с помощью рекуперативного торможения.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в успешной реализации результатов работы при проектировании электрифицированных колёсных транспортных средств с электромеханическими силовыми передачами различного класса, в создании которых автор принимал непосредственное участие.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при разработке математической модели эксплуатации шасси (трансмиссии, ходовой части и механизмов управления) в статическом и динамическом состоянии и создании на её основе цифрового двойника платформы легкового автомобиля в ФГАОУ ВО «Московский Политехнический университет» и отражены в научно-технических отчётах, выполненных в рамках государственного задания № FZRR-2023-0007 от 26.10.2023г.

Результаты диссертационной работы также использованы в учебном процессе кафедры «Наземные транспортные средства» и Передовой инженерной школы электротранспорта ФГАОУ ВО «Московский Политехнический университет», кафедры «Электромобильности и магнитных систем» ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт», кафедры «Электрооборудование автомобилей и электромобили» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-но-дорожный университет (МАДИ)», кафедры «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» ФГБОУ ВО «Воронежский лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова».

Материалы диссертации могут быть использованы в научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях, занимающихся проектированием колесных машин, а также в учебном процессе высших учебных заведениях технического профиля.

5. Замечания по диссертационной работе

К замечаниям по диссертационной работе следует отнести следующее:

1) Математическая модель взаимодействия колеса с опорным основанием в составе полной модели динамики не учитывает неустановившиеся процессы,

связанные со скоростью изменения скольжения, угла увода. Поскольку автор исследует быстропротекающие процессы, использование нестационарных моделей было бы полезным и могло бы повысить качество исследования.

2) Критерии оценки эффективности метода управления, обеспечивающего снижение динамической нагруженности учитывают снижение амплитуд возбуждаемых высокоинтенсивных колебаний, но не рассматривает длительность их действия. Автору следовало бы рекомендовать проведение анализа усталостной долговечности узлов силовой передачи;

3) При исследовании влияния знака изменения нагрузки автору следовало бы провести анализ влияния зазоров в зубчатом зацеплении, не учтённые в математической модели, на разрушения элементов силовой передачи;

4) Представленные результаты математического моделирования и экспериментов показывают наличие колебательного процесса, однако нельзя исключать, что эти колебания формируются системой векторного управления электродвигателем или работой регулятора в замкнутой системе управления;

5) Из текста работы следует что при применении метода управления, обеспечивающего подавление колебаний происходит ухудшение тормозных свойств машины, что является не приемлемым и требует пояснений. При этом не в полной мере обеспечивается скоростной режим, что может привести к увеличению времени движения между остановками;

6) Автору следовало бы более чётко обосновать выбор вида полиномом формирующих зависимости и уставок для перехода между режимами рекуперативного торможения, выбега и тяги при однопедальном управлении;

7) При использовании метода однопедального управления очевидно, что автор предлагает использовать только рекуперативное торможение для замедления машины, ввиду этого имеется риск невозможности реализации экстренного торможения и аварийных ситуаций. При этом возможна необходимость постоянного поддержания уровня нажатия на педаль водителем, что может повысить его утомляемость.

Указанные выше замечания не изменяют общей положительной оценки диссертации и даёт право считать диссертацию Климова А.В. завершённым исследованием, представляющим учёным и разработчикам научно-методический аппарат, позволяющий эффективно решать научные и инженерные задачи, возникающие в процессе разработки транспортных машин с электромеханическими силовыми передачами.

6. Публикации и соответствие содержания диссертации и автореферата

Основные положения диссертации изложены в достаточном числе публикаций, автореферат в основном соответствует её содержанию.

Публикации, приведённые в автореферате, включают материалы по основным разделам диссертации. Основные положения и результаты исследований изложены в 39 публикациях, в том числе 21 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертаций на соискание учёной степени доктора наук, в изданиях, входящих в международные системы цитирования Scopus и Web of

Science - 7. По результатам работы получено 7 патентов на изобретения и полезные модели и 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Результаты работы прошли апробацию на многих международных и отечественных научно-технических мероприятиях: I Международной научно-практической конференции Автонет «перспективные транспортные технологии», 4 июля 2022 г., г. Екатеринбург; Международном автомобильном научном форуме МАНФ 2022, ГНЦ РФ ФГУП НАМИ, 18-19 октября 2022 г., г. Москва; I всероссийской конференции по электрическим машинам ВКЭМ, 2022, ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий, 15-16 декабря 2022 г., г. Уфа; Научно-техническом семинаре «Водородные, электрические и гибридные транспортные средства», ФГАОУ ВО Московский политехнический университет, 6 октября 2022 г., г. Москва; Международном автомобильном научном форуме МАНФ 2023, ГНЦ РФ ФГУП НАМИ, 18-19 октября 2023 г., г. Москва; Международной научно-практической конференции «Развитие производительных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего», ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет, 17-23 ноября 2023 г., г. Кемерово; 82-я международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, ФГБОУ ВО Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, январь 2024 г., г. Москва; III международной научно-практической конференции Автонет «Перспективные транспортные технологии», ФГАОУ ВО Московский политехнический университет, 25 апреля 2024 г., г. Москва; Международном автомобильном научном форуме МАНФ 2024, ГНЦ РФ ФГУП НАМИ 16-17 октября 2024 г., г. Москва; II Международном форуме профессионалов рынка Автонет «Развитие электротранспорта в России – от концепции к технологическому суверенитету», ФГАОУ ВО Московский политехнический университет, 3 декабря 2024 г., г. Москва; Научно-техническом семинаре кафедры «Колёсные машины» ФГАОУ ВО Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2 июня 2025 г., г. Москва; Международном автомобильном научном форуме МАНФ 2025, ГНЦ РФ ФГУП НАМИ 15-16 октября 2025 г., г. Москва.

Диссертационная работа выполнена на высоком методическом и научном уровне, содержит всесторонний анализ обозначенных в ней актуальных проблем. Диссертант владеет современными методами динамического анализа сложных мехатронных систем, численными методами решения систем дифференциальных уравнений, методами математической статистики, методами теории транспортных машин, методами теории колебаний, методами теории управления, методами теории электромеханических преобразователей, методами управления электроприводом, экспериментальными методами исследования свойств транспортных средств и их систем.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным положением о присуждении учёных степеней

Диссертация Климова Александра Владимировича «Методология повышения эффективности электробуса на основе синтеза законов управления

электромеханической силовой передачей» является завершённой научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством, выполненной втором на высоком уровне, в которой решена важная научная проблема, имеющая существенное значение для развития автомобильной промышленности.

Установленные автором научные положения отличаются научной новизной и практической значимостью, достоверность научных результатов не вызывает сомнения. Задачи, поставленные в работе автором, решены в полном объёме. Текст автореферата соответствует структуре и содержанию диссертации. В научных трудах автора по теме выполненной работы в полной мере отражены основные положения и содержание проведённых им научных исследований.

Диссертационная работа Климова Александра Владимировича отвечает требованиям Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 «О порядке присуждения учёной степени доктора технических наук», а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.11 – «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы» за большой вклад в развитие теории и практики рабочих процессов и практики создания колёсных транспортных машин с электромеханическими силовыми передачами и альтернативными источниками энергии, в том числе синтезирование законов и методов управления повышающих потребительские и эксплуатационные свойства техники.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор
кафедры «Колесные машины»,
ФГАОУ ВО «Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана»
(специальность: 05.05.03 - Колесные и
гусеничные машины)

 А.С. Дьяков

«28» июня 2026 г.

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, <https://bmstu.ru/>, тел.: +7 (499) 263 61 40; эл. почта: diakov_as@bmstu.ru

Подпись Дьякова А.С. подтверждаю:

«__» _____ 2026 г.



НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА
КИРЯПИНА А.Н.
ОТДЕЛ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ
ЕДИНОЙ ПРИЕМНОЙ УКСИ
МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА