

# **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доктора технических наук, профессора Федотова Александра Ивановича  
на диссертацию Маликова Рамиля Раильевича  
**на тему «Разработка методики исследования влияния характеристик тяговой  
аккумуляторной батареи на эксплуатационные свойства электрифицированного  
транспортного средства»,** представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по научной специальности 2.5.11. Наземные транспортно-технологические  
средства и комплексы (технические науки)

## **Актуальность темы диссертационной работы**

Одним из важных вопросов в автомобильной индустрии сегодня является проблема сокращения выбросов токсичных веществ от двигателей внутреннего сгорания. Разработка гибридных и электрических транспортных средств была установлена как жизнеспособное решение этой масштабной проблемы. Стратегии и политика, разработанные основными странами мира, активно поддерживают индустрию электромобилей, в результате чего продажи гибридных и электрических транспортных средств значительно возросли в последние годы. Однако главными препятствиями в вопросах массового использования электромобилей являются малые расстояния, которые они преодолевают на одной зарядке тяговых аккумуляторных батарей, низкая эффективность этих батарей при эксплуатации в широком спектре климатических условий России, низкая скорость заряда и т.п. Эти негативные факторы являются сдерживающими развитие электромобильной промышленности во всем мире.

Одной из актуальных задач при проектировании электромобилей является обоснование оптимального, по эксплуатационным качествам, выбора тяговых аккумуляторных батарей, который в полной мере обеспечивал бы их эксплуатационные показатели. В свою очередь решение этой задачи сдерживается отсутствием знаний, позволяющих на этапе проектирования определять расход энергии пассажирского транспортного средства с учетом его массы, степени загрузки, температуры окружающей среды, начальной температуры салона в условиях эксплуатации. На поиск этих знаний и направлена данная диссертация.

В связи с изложенным, создание новой методики исследования влияния характеристик аккумуляторных батарей на эксплуатационные показатели транспортных средств с помощью математической модели, позволяющей учитывать энергозатраты на работу климатической установки, является актуальной научной задачей.

Решение этой научной задачи позволит на этапе проектирования определять

технические требования к накопителю энергии электрического транспортного средства, выполнять анализ влияния характеристик тяговой аккумуляторной батареи на её эксплуатационные показатели, выполнять виртуальные испытания автомобилей с тяговым электроприводом, являющиеся частью процесса их создания и исследования.

### **Оценка содержания диссертации и ее завершенности**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка сокращений, списка литературы и приложений. Работа изложена на 217 листах машинного текста, содержит 98 рисунков, 51 таблицу и 7 приложений. Список литературы содержит 108 наименований.

Во введении раскрывается актуальность темы, сформулирована основная цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы, основные положения, выносимые на защиту, а также приводятся структура и объём работы.

В первой главе отмечена проблематика и актуальность тематики электрифицированных транспортных средств и их накопителей энергии. Обозначена проблема выбора и разработки накопителей энергии, определен перечень параметров аккумуляторных батарей, влияющих на эксплуатационные свойства транспортного средства. Проведен анализ литературных источников отечественных и зарубежных авторов по теме исследования.

Во второй главе приведен теоретический подход к математическому описанию разрабатываемой комплексной имитационной модели движения транспортного средства с учетом работы климатической системы и системы терmostатирования тяговых аккумуляторных батарей. В начале главы описываются аспекты, связанные с электрическими характеристиками аккумуляторных ячеек их получение и использование в математической модели аккумуляторной батареи.

Приведено математическое описание модели тягового баланса движения транспортного средства, теплового баланса салона и теплового баланса системы терmostатирования. Комплексная имитационная модель реализована в среде Matlab-Simulink.

На основе расчетов имитационной модели определены коэффициенты регрессионного уравнения с помощью, которого обеспечивается возможность определения удельного расхода энергии пассажирских транспортных средств с тяговым электроприводом.

В третьей главе Приведен анализ ездовых испытаний и валидация разработанной виртуальной модели на основе проведенных испытаний пассажирского транспортного средства категории М3. Приведен анализ данных, полученных экспериментальным путем, в их сравнении с расчетными данными, полученными с помощью математической модели.

Объектом испытаний был электробус КАМАЗ 6282. В главе приведено описание оборудования, используемого для измерения и сбора параметров, измеряемых в процессе испытаний.

На основе ездовых испытаний автором рассчитана погрешность математической модели, которая составляет не более 8,3%. Погрешность при валидации алгоритмов заряда составила 1,3%. При валидации тепловой модели салона транспортного средства и системы терmostатирования тяговых аккумуляторных батарей погрешность составила не более 1,5% по температуре.

В четвертой главе приведена разработанная автором методика исследования характеристик тяговой аккумуляторной батареи в составе транспортного средства. Методика имеет ряд последовательных функций, включающих формирование технических требований к накопителю энергии, сравнение основных параметров и проведение виртуальных испытаний накопителей энергии для оценки эксплуатационных показателей транспортного средства. Результатом данной методики является определение накопителя энергии с наилучшими характеристиками для удовлетворения требований по эксплуатации электрических транспортных средств.

В пятой главе представлена методика, которая была автором опробована при анализе и выборе накопителя энергии для разрабатываемого электробуса с заданным суточным пробегом. Сформированы технические требования к тяговой аккумуляторной батареи на основе которых определены её характеристики. В отношении нескольких вариантов тяговых аккумуляторных батарей автором были выполнены аналитические исследования на основе моделирования их работы в составе электробуса и произведена критериальная оценка эксплуатационных характеристик. На основе этого анализа был выявлен наилучший вариант тяговой аккумуляторной батареи. В конце главы представлены расчеты параметров движения электробуса по одному из московских маршрутов в наиболее тяжелых условиях. В результате этих расчетов автором была выявлена температура окружающей среды, при которой электробус способен проехать установленный техническим заданием пробег на одном заряде.

Общий анализ содержания диссертации показывает, что она изложена на 217 страницах, название диссертации соответствует её содержанию. Структура и текст диссертации оформлены в соответствие с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011. Работа имеет завершенный характер. Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Список опубликованных автором публикаций по теме диссертационного исследования состоит из 12 печатных трудов, в том числе 9 научных публикаций - в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в журнале, входящем в международную базу цитирований Scopus и 2 патента на полезную модель.

## **Обоснованность, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Основным научным результатом, полученным автором в диссертационной работе, является разработанная им научная методика, позволяющая выполнять исследование влияния характеристик тяговых аккумуляторных батарей на эксплуатационные свойства электрических транспортных средств. В методике используются сценарии компьютерного моделирования исследуемых процессов в среде Matlab-Simulink, а также комплекс дорожных и стационарных экспериментальных исследований на серийном образце электрического транспортного средства электробуса КАМАЗ 6282 проведенных для валидации разработанной имитационной модели.

На основании вышеизложенного можно сделать заключение о том, что научные положения в диссертации достоверны, а выводы и рекомендации обоснованы и убедительны.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при проектировании или интеграции накопителей энергии на разрабатываемых электрифицированных транспортных средствах, а также для проверки эксплуатационных свойств, не прибегая к полномасштабным физическим испытаниям.

### **Научная и практическая значимость работы**

При разработке методики исследования влияния характеристик накопителей энергии на эксплуатационные свойства электрических транспортных средств автор предложил:

- новую комплексную имитационную модель движения электрических транспортных средств, отличающаяся тем, что позволяет рассчитывать затраты энергии на движение транспортного средства с учетом работы климатической системы, а также с учетом потребления энергии системой терmostатирования батареи в зависимости от температурных условий.

- новую регрессионную модель для расчета удельного расхода энергии пассажирских электрических транспортных средств с полной массой от 4,5 до 28 т с электроприводом, химическим накопителем энергии и климатической установкой.

- новую методику анализа характеристик аккумуляторной батареи, отличающуюся тем, что позволяет выбрать или разработать накопительную систему с энергетическими показателями, которые смогут обеспечить все потребности транспортного средства для выполнения поставленных задач в техническом задании на транспортного средства.

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы подтверждаются актом внедрения: в учебном процессе «Московского политехнического университета» (Мосполитех). Результаты исследований используются в Передовой

инженерной школе электротранспорта и на кафедре «Наземные транспортные средства» при проведении учебных занятий по образовательным программам «Автомобильная мехатроника», «Компьютерный инжиниринг в автомобилестроении», «Перспективные транспортные средства» при подготовке по программам специалитета, бакалавриата и магистратуры по дисциплинам: «Автомобили с комбинированными энергетическими установками», «Математическое моделирование рабочих процессов автомобиля», «Конструкция тяговых аккумуляторных батарей», «Электрические транспортные средства», «Математическое моделирование и исследование движения автомобиля в среде».

Концепция комплексного подхода к анализу тяговых накопителей подтверждается актом внедрения: в аналитические работы по выбору аккумуляторных систем при разработке линейки энергоэффективных пассажирских и грузовых транспортных средств КАМАЗ на предприятии ООО «Инновационный центр «КАМАЗ».

Апробация работы проходила на авторитетных научно-исследовательских конференциях, семинарах и форумах, в том числе на международных.

Таким образом, подробный анализ содержания диссертации Маликова Рамиля Раильевича позволяет утверждать, что его диссертационная работа и результаты исследования имеют существенное значение для науки и практики.

### **Замечания по диссертационной работе**

По диссертационной работе Маликова Рамиля Раильевича имеются следующие замечания:

1. С одной стороны, в главе 2 диссертации автор представил достаточно подробное математическое описание разрабатываемой им модели, но с другой стороны, он не привел иллюстрации состава блоков этой математической модели;
2. В главе 3 диссертации отсутствует информация об отчетах или протоколах, проведенных автором испытаний;
3. На некоторых страницах текста диссертации автор привел наименования, названия осей графиков, выносок на иностранном языке. Например: рис. 6 (стр. 26 диссертации); рис. 10 (стр. 31 диссертации); рис. 13 (стр. 35 диссертации); рис. 15 (стр. 37 диссертации);
4. Некоторые таблицы имеют некорректный (с точки зрения требований ГОСТ Р 7.0.11-2011) перенос их части на следующую страницу. Например, таблица 3 (стр. 57 диссертации), таблица 6 (стр. 61 диссертации); таблица Г.2 (стр. 209 диссертации).

Приведенные замечания скорее всего являются досадными опечатками и ни в коей мере не умаляют научную и практическую значимость диссертационной работы её автора - Маликова Рамиля Раильевича.

## **Заключение**

Диссертация Маликова Рамиля Раильевича «Разработка методики исследования влияния характеристик тяговой аккумуляторной батареи на эксплуатационные свойства электрифицированного транспортного средства» является завершенной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством, выполненной автором на высоком уровне, в которой решена научная задача, имеющая существенное значение для развития автомобильной промышленности страны. Установленные автором научные положения отличаются научной новизной и практической значимостью, достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

Задачи, поставленные в работе, решены автором в полном объёме. Текст автореферата соответствует структуре и содержанию диссертации. В научных трудах автора по теме выполненной им диссертации в полной мере отражены основные положения и содержание проведённых им научных исследований.

Диссертационная работа Маликова Рамиля Раильевича отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 «О порядке присуждения учёных степеней», а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы (технические науки).

### **Официальный оппонент:**

Заслуженный деятель науки Российской Федерации

доктор технических наук, профессор

(специальность: 05.20.03 – «Эксплуатация, восстановление и ремонт сельскохозяйственной техники»),

заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт»

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Почтовый адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Телефон: +7 (3952) 40-58-53

e-mail: [fai.abs@rambler.ru](mailto:fai.abs@rambler.ru)

«23» ноября 2023 г.

