

ОТЗЫВ

официального оппонента

д.т.н., профессора Лукутина Бориса Владимировича

на диссертационную работу

Дедова Сергея Игоревича

«Повышение энергоэффективности силовой гибридной установки автономного транспортного средства», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы

1. Актуальность работы

В настоящее время возрастает интерес к транспорту с тяговым электроприводом. Важным вопросом практического использования электротранспорта является определение ресурсосберегающих режимов работы аккумуляторных батарей, используемых в качестве основного источника энергии на автономных электротранспортных средствах.

Сегодня стоимость блока аккумуляторов электроэнергии составляет значительную часть от стоимости электротранспортного средства. Поэтому высокий научный и практический интерес представляют решения, направленные на удешевление и техническое совершенствование блока накопителей с целью увеличения запаса автономного хода и повышения эксплуатационных показателей электротранспортного средства.

Поэтому актуальность темы диссертационной работы Дедова С.И., посвященной актуальной научно-технической задаче по разработке и исследованию эффективных способов управления режимами заряда-разряда электромобиля с блоком накопителей на базе LiFePO_4 аккумуляторов не вызывает сомнений.

2. Оценка структуры содержания диссертационной работы

Диссертация Дедова Сергея Игоревича изложена на 121 странице, включает 52 рисунка, 24 таблицы, список литературы из 109 наименований и 3 приложения. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении показана актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, приведены сведения о публикациях по теме работы, об апробации результатов и личном вкладе автора в работу.

В первой главе рассмотрены типы применяемых литий-ионных аккумуляторных батарей и приведены их технические характеристики. На основе анализа сделан вывод о необходимости исследования ресурсосберегающих режимов работы LiFePO_4 аккумуляторов. Приведены наиболее значимые факторы и механизмы деградации, возникающие в аккумуляторной батарее при эксплуатации на электротранспортном средстве.

Во второй главе рассмотрены стандартизированные ездовые циклы, используемые для имитации движения транспортного средства. По результатам сравнительного анализа выбран цикл WLTC, использованный для расчета токовой нагрузки, возникающей в ячейке блока накопителей электромобиля разной энергоемкости.

Третья глава содержит описание разработанного и созданного исследовательского комплекса для проведения ресурсных испытаний аккумуляторных батарей. Представлены результаты полного факторного эксперимента по определению корреляции между изменением величины емкости LiFePO_4 аккумулятора и исследуемыми факторами: величины тока заряда и разряда, длительности режима разряда и общего время нахождения в работе. Проведен расчет коэффициентов уравнения регрессии и выявлены основные факторы, оказывающее наибольшее влияние на ресурс литий-ионного аккумулятора электротранспортного средства.

В четвертой главе автор приводит результаты имитационного моделирования длительной работы тягового привода электромобиля с типовой и предложенной гибридной накопительной установкой. Представленные результаты подтверждают эффективность схемотехнического решения, заключающегося в гибридации

накопительной установки путем внедрения буферного накопителя энергии для сглаживания токовой нагрузки LiFePO_4 аккумулятора.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

В приложениях представлены обобщённые результаты ресурсных испытаний аккумуляторных ячеек, акт о внедрении результатов работы и копия титульного листа свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

3. Методы исследования

Исследования выполнены с использованием методов математической статистики, законов электротехники, теории электрической тяги, математического и имитационного моделирования в вычислительной среде MATLAB Simulink. Экспериментальные исследования ресурса АБ получены на разработанном специализированном исследовательском комплексе.

4. Новыми научными результатами, полученными автором, являются:

1. Установлены зависимости токовых нагрузок аккумуляторов электромобиля различной энергоемкости от режимов движения по обоснованному стандартному ездовому циклу в варьируемых условиях.

2. В результате проведённого многофакторного эксперимента с использованием созданного испытательного стенда, получен массив данных, использованных для установления полиномиальных зависимостей срока службы литий-ионных аккумуляторов от эксплуатационных факторов: величины токов заряда и разряда, длительности режима разряда и общего времени нахождения в работе.

3. Предложено техническое решение по усовершенствованию накопительной установки электромобиля, заключающееся в выделении основной и буферной компонент батареи аккумуляторов. На основе

синтезированной математической модели проведена оценка эффективности технического решения в вычислительной среде MATLAB Simulink путем сопоставления степени деградации ОНЭ в составе типовой и гибридной накопительной установки.

5. Значимость полученных результатов

Практическая значимость:

1. Разработан и реализован физический исследовательский комплекс, позволяющий проводить многофакторные исследования с целью определения энергоресурса литий-ионных аккумуляторов для различных нагрузочных режимов.

2. Предложена методика, позволяющая прогнозировать срок службы литиевого аккумулятора электромобиля.

Теоретическая значимость:

1. На основе обработки результатов многофакторного эксперимента разработаны рекомендации по повышению ресурса и регулированию режимов работы LiFePO_4 аккумулятора в составе тягового привода электромобиля с целью увеличения срока службы без ухудшения динамических свойств.

2. Синтезирована имитационная математическая модель тягового привода, позволяющая исследовать влияние различных стратегий регулирования токовой нагрузки на срок службы аккумуляторной батареи с возможностью широкой настройки параметров исследуемого электротранспортного средства, учёта типов применяемых аккумуляторов и их взаимодействия с окружающей средой.

3. Результаты проведенных ресурсных испытаний могут быть использованы для модернизации системы управления батареями электротранспортного средства с блоком накопителей на базе LiFePO_4 аккумуляторов с целью увеличения срока службы путем корректировки токовых нагрузок.

6. Реализация результатов диссертационного исследования

В результате научно-исследовательской работы, направленной на установление корреляционных зависимостей ресурса литиевых аккумуляторов от различных факторов, создан исследовательский комплекс для тестирования аккумуляторных батарей. На разработанном исследовательском стенде по заказу компании ООО “Новосибирский завод конденсаторов” проводятся ресурсные испытания опытной партии литий-никель-марганец-кобальт-оксидных (Li-NMC) аккумуляторов форм фактора 18650 и емкостью 3700 мА·ч. Отдельные результаты работы исследования использованы для модернизации программного обеспечения тестовых систем «Анализатор ХИТ серии АСК75.10.20.х» российского производства (компания ООО “ЯРОСТАНМАШ”, г. Москва) в виде двух модификаций: на 2 канала (АСК75.10.20.2) и на 12 каналов (АСК75.10.20.12). Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе дисциплины “Накопители энергии в электротранспортном комплексе”. Созданная имитационная модель тягового привода электромобиля может применяться в дисциплине “Теория электрической тяги”.

7. Достоверность научных результатов, положений и выводов подтверждается использованием теоретических положений, опирающихся на классические труды в области теоретической электротехники, корректностью принятых допущений при исследованиях, согласованностью результатов имитационного математического моделирования и физического эксперимента.

Положительные результаты внедрения, полученные автором в диссертационной работе, схемотехнические решения по повышению эффективности использования энергоресурса LiFePO_4 аккумуляторов в составе тягового привода электротранспортного средства также свидетельствуют о достоверности полученных результатов.

8. Публикации по теме диссертации

Основные положения и результаты диссертационного исследования опубликованы в 12-ти научных работах, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 7 - в научных изданиях, входящих в систему цитирования «Scopus» и/или «Web of Science», получено свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ.

Материалы диссертации опубликованы в научных печатных изданиях с достаточной полнотой.

9. Соответствие полученных результатов поставленной цели и задачам диссертации

Полученные в диссертации результаты соответствуют заявленной цели работы, все поставленные задачи были решены.

10. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат отражает содержание диссертации в достаточной степени.

11. Замечания

По работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Название диссертации не в полной мере отражает цель работы – продление срока службы аккумуляторов электромобиля.
2. Пункт 2 научной новизны «Создание специализированного исследовательского комплекса ...» логичнее было бы перенести в раздел «Практическая значимость». В свою очередь, пункт 1 практической значимости «Представлена имитационная модель...», больше относится к научной новизне работы.
3. Исследования деградации аккумуляторов проведены без учёта реального температурного диапазона, соответствующего условиям их эксплуатации. Косвенный учёт присутствует только при расчёте мощности собственных нужд транспортного средства на примере условий г. Новосибирска.
4. В чем заключается принципиальное отличие предложенного схемотехнического решения гибридного тягового привода от

существующих и широко применяемых гибридных систем хранения и преобразования энергии? Не обоснован выбор соотношения между энергоёмкостью основного (ОНЭ) и буферного (БНЭ) накопителями электроэнергии. Не проработан алгоритм взаимодействия между ними.

5. В третьей главе (стр. 70) в таблице 3.1 представлена матрица эксперимента, и, в отличие от выбранных значений токов в режиме заряда-разряда и длительности разряда, не дано пояснение выбора величины длительности заряда принятой для всех опытов. Также на эквивалентной токовой диаграмме, представленной на рисунке 3.10, помимо интервалов заряда-разряда, есть длительный период без нагрузки, который исключен в проведенных экспериментах.

12. Общее заключение по диссертации

Диссертация Дедова С.И. «Повышение энергоэффективности силовой гибридной установки автономного транспортного средства» соответствует специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» и указанным в ней областям исследования п.п. 2,3,4; работа имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение актуальной научно-технической задачи по повышению эффективности использования энергоресурса литий-ионных аккумуляторных батарей электромобиля.

Основные выводы и заключения сформулированы достаточно полно и отражают суть полученных результатов исследования.

Диссертация полностью соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а ее автор, Дедов Сергей Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Профессор, доктор технических наук, профессор Отделения
электроэнергетики и электротехники ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский Томский политехнический университет»

Лукутин Борис Владимирович

15.08.2022

Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет».

Адрес: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

тел: (3822) 60-60-72,

e-mail: lukutin48@mail.ru

Докторская диссертация защищена по специальности 05.09.01 -

Электромеханика и электрические аппараты.

С обработкой персональных данных согласен.

Подпись Лукутина Б. В. заверяю:

Проректор по науке
и трансферу техноло

Л.Г. Сухих

Отзыв получен 22.08.2022 МП / Дубиню М.А.
С отзывом ознакомлен 22.08.2022 [подпись] / Дубов С.И.