

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**Котина Денис Алексеевич**, кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электропривода и автоматизации промышленных установок», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

на диссертационную работу **Дубкова Евгения Александровича** «Обоснование применимости систем беспроводного заряда для шахтного аккумуляторного электротранспорта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

### **2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы**

На отзыв представлена диссертация и автореферат «Обоснование применимости систем беспроводного заряда для шахтного аккумуляторного электротранспорта». Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 177 страницах машинописного текста, содержит 65 рисунков и 10 таблиц, списка литературы из 250 наименований.

### **Актуальность темы исследования**

Применение электрического транспорта становится все более и более значимым для развития экономики Российской Федерации. Электрический транспорт с автономным ходом, несомненно, должен рассматриваться не только в разрезе пассажирских или индивидуальных транспортных средств, но и применительно к другим отраслям промышленности. При этом, наличие электрического транспорта в технологических линиях и цепочках промышленных предприятий, ставит задачу увеличение межзарядного пробега, исключения простоев технологического оборудования.

Такая отрасль народного хозяйства Российской Федерации, как горнодобывающие производства, несомненно, являются стратегически важными для страны. Однако, применение электрического транспорта в угольных шахтах всегда связано с опасностью воспламенения и взрыва угольной пыли, а также газов, выделяющихся при производстве выработки.

Диссертация Дубкова Евгения Александровича посвящена вопросу разработки и исследования бесконтактной зарядной станции для автономного шахтного электротранспорта. Работа направлена на решение двух глобальных научных задач, это разработка концепции построения электротехнического комплекса беспроводной зарядной станции для бортовых аккумуляторов подземного транспортного средства, и обеспечение максимальной безопасности функционирования этого электротехнического комплекса в опасных условиях по газу и пыли.

Актуальность темы исследования определяется недостаточной изученностью и проработкой вопросов применения систем беспроводной передачи энергии в условиях функционирования подземных технологических установок горнодобывающих комплексов. Многообразие вариантов построения наземных систем беспроводного заряда, не могут быть напрямую распространены на шахтный электротранспорт.

В связи с этим, тема диссертационной работы Дубкова Евгения Александровича является **актуальной**.

### **Оценка структуры и содержания работы**

**Краткая характеристика работы.** Содержание и структура диссертационной работы находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели и задачам исследования.



Используемая в диссертационной работе терминология и стиль изложения материала соответствуют общепринятым нормам.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и идея работы, поставлены задачи исследования, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также научные положения, выносимые на защиту. Представлены методы исследования, достоверность научных положений, реализация и внедрение полученных результатов, апробация и публикации по теме исследования.

В первой главе диссертации произведен подробный анализ современных технологий и топологий проектирования систем беспроводной передачи энергии, рассмотрены варианты и структуры элементов, входящие в состав системы передачи энергии, схемные решения силовых полупроводниковых преобразователей, использующихся в системах беспроводной передачи энергии, и особенности их функционирования.

Стоит отметить, что автором был проделан максимально подробный анализ существующих решений по беспроводной передаче энергии, в том числе ее элементной базы. Это подтверждается объемом списка литературы в диссертации и числом ссылок на него по тексту первой главы.

Вторая глава диссертации посвящена разработке топологии электротехнического комплекса беспроводного заряда аккумуляторных батарей для рудничного электровоза. Для выбора конкретных конструкций и схемотехнических решений, были применены методы системного анализа. Для оценки полученных решений были выбраны наборы критериев эффективности и безопасности функционирования электротехнического комплекса. Автором диссертационной работы составлены матрицы парных сравнений, что позволило определить относительную важность каждого критерия для решения рассматриваемой задачи. Были рассчитаны коэффициенты относительной важности каждого из критериев.

Стоит отметить, что для решения поставленных во второй главе диссертационной работе задач, автором применен строгий математический подход для выбора электрической схемы наилучших топологий узлов системы беспроводного заряда.

В третьей главе диссертационной работы выполнена параметрическая оптимизация системы беспроводного заряда аккумуляторов для шахтного электровоза. Определен набор функций, подлежащих оптимизации. Сформулированы критерии оптимизации и граничные условия для них. Разработан и исследован алгоритм параметрической оптимизации электротехнического комплекса беспроводного заряда. Получены значения параметров электрической схемы для беспроводного заряда аккумуляторов рудничного электровоза марки А-5,5-600-У5.

Четвертая глава диссертации посвящена анализу взрывобезопасности системы беспроводного заряда на примере рудничного электровоза А-5,5-600-У5. Разработана комплексная модель, сочетающая в себе конечноэлементную модель и динамическую моделью элементов электрической схемы системы беспроводной передачи энергии. Реализация модели для исследования режимов работы беспроводного заряда выполнялась в пакетах прикладных программ MatLab Simulink и Altair Flux. Автором были проведены экспериментальные исследования цифровой модели и лабораторного образца систем беспроводного заряда различной мощности. Были получены зависимости КПД системы беспроводного заряда, а также результаты нагрева элементов, нахождение которых в области беспроводной передачи энергии возможно в связи с характером технологического процесса горной выработки. Доказана безопасность принятых конструктивных решений и гарантированное невоспламенение атмосферы опасной по газу и пыли.

В заключении обобщены результаты проведенных в рамках диссертационной работы исследований.

Содержание автореферата **полностью соответствует** содержанию диссертационной работы.



## **Научная новизна полученных результатов**

1. Впервые предложен набор критериев, позволяющих обосновать конструктивное и схемотехническое решение для системы беспроводного заряда шахтного электротранспорта.

2. Впервые получены зависимости, позволяющие для конкретных габаритных размеров металлического тела определить граничное амплитудное значение индукции магнитного поля, находясь ниже которого температура поверхности данного металлического предмета за счет индукционного нагрева гарантированно не поднимется выше предписываемой стандартом максимальной температуры поверхности оборудования.

3. Предложен алгоритм оптимизации параметров системы беспроводного заряда на этапе проектирования, отличающийся от известного обеспечения максимальной энергоэффективности при ограничениях по величине передаваемой мощности и максимальному превышению напряжения на конденсаторах резонансного контура при фиксированном входном напряжении.

## **Степень достоверности результатов исследования**

Достоверность полученных Дубковым Евгением Александровичем результатов подтверждается корректным применением математических методов и моделей, адекватность которых реальным процессам подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований; удовлетворительной сходимостью результатов, полученных теоретически и экспериментально при проведении лабораторных испытаний; применением современного оборудования; сходимостью теоретически полученных результатов и результатов компьютерного моделирования с результатами полученными экспериментально. А также, апробацией как предварительных, так и окончательных результатов диссертационной работы.

Общее количество публикаций автора по теме диссертации: 11 печатных работ, из которых 3 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 публикации в изданиях, индексируемых Scopus, Web of Science.

## **Соответствие паспорту специальности**

Диссертация соответствует специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы», поскольку результаты представляют собой законченные научные и технические исследования и разработки в области систем беспроводного заряда шахтного аккумуляторного электротранспорта.

В работе присутствуют результаты, соответствующие областям исследования паспорта специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» по техническим наукам: 1 – развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования, 2 – Разработка научных основ проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов, 3 – разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления, 4 – исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов.



## **Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации**

Теоретическая значимость работы заключается в разработке алгоритма оптимизации параметров резонансного контура системы беспроводной передачи энергии, в получении зависимостей, позволяющих определять граничные значения индукции магнитного поля, гарантирующих безопасную работу системы беспроводной передачи энергии во взрывоопасной атмосфере.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики поиска наилучшего технического решения беспроводной зарядной станции для эксплуатации в условиях атмосферы опасной по газу и пыли, в разработке зависимостей, лежащих в основу оценки безопасности применения беспроводной зарядной станции на стадии проектирования.

Полученные теоретические и практические результаты работы используются в учебном процессе ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» для подготовки бакалавров и магистров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» и рекомендованы к использованию в работе в ООО «НПФ Мехатроника-Про» (г. Томск).

Основные разделы диссертации и положения, выносимые на защиту, были выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2021-138/3).

## **Соответствие положений, вынесенных на защиту, материалам диссертации**

На основании анализа содержания диссертационной работы, ее научной новизны и практической ценности можно заключить, что вынесенные на защиту положения полностью соответствуют содержанию диссертации, научно обоснованы и вносят существенный вклад в решение задачи выбора и оптимизации топологии системы беспроводного заряда для горно-шахтного электрического транспорта.

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Полученные результаты исследований могут быть использованы на предприятиях, проектирующих или эксплуатирующих горно-шахтные электрические транспортные средства с автономным ходом. Результаты исследований могут быть востребованы в научной работе и образовательном процессе в профильных высших учебных заведениях.

## **Замечания по диссертационной работе и автореферату**

1. В диссертационной работе не оценено время полного заряда аккумуляторных батарей рудничного электровоза марки А-5,5-600-У5 от разработанной системы беспроводного заряда. В связи с этим не оценено время стоянки электровоза на специально оборудованной площадке. И как это время простоя электровоза соотносится с общим временем, необходимым для оперативной замены аккумуляторных батарей при наземной способе их заряда?

2. В главе 2 при разработке электрической схемы системы беспроводного заряда была выбрана бестрансформаторная схема (рис. 2.7). При этом напряжение в звене постоянного тока высокочастотного инвертора напряжения составляет 891 В, тогда как номинальное напряжение сборки аккумуляторных батарей – 130 В. Из этих соотношений можно сделать вывод о низкой глубине модуляции инвертора напряжения, а следовательно о неудовлетворительном гармоническом составе токов и напряжений в катушках индуктивностей передающей и принимающей энергию сторон, что в свою очередь влияет на дополнительные потери в этих элементах. Как автор прокомментирует идею установки на входе электрической схемы трехфазного понижающего трансформатора, для согласования напряжения питающей сети с номинальным напряжением аккумуляторов?



3. Основным результатом работы, является расчет КПД проектируемой системы беспроводного заряда. За счет чего достигается достаточно высокое значение энергетической эффективности предложенной системы (более 90%)? Предложенная схема имеет многократные преобразования электрической энергии на высокой частоте коммутации, содержит моточные изделия с высокой частотой тока, протекающей через них, при передачи энергии с передающей на приемную сторону неизбежно будут возникать потоки рассеяния. Как удастся минимизировать суммарные потери в предложенном электротехническом комплексе?

4. Экспериментальные исследования в работе проводились для маломощного лабораторного макета системы беспроводного заряда. Насколько корректно распространить результаты экспериментальных исследований на реальный рудничный электровоз марки А-5,5-600-У5? Это вопрос вызван тем, что все параметры электрической схемы (индуктивности, емкости, токи, напряжения) изменятся. Удастся ли добиться желаемых показателей эффективности работы предложенного электротехнического комплекса?

5. Результаты экспериментальных исследований, представленные на рис. 4.4, можно сопоставлять с результатами теоретических исследований лишь качественно. Поскольку они выполнены в разном временном масштабе. Масштаб экспериментальных осциллограмм 2 мкс/кл. Масштаб осциллограмм, полученных методом компьютерного моделирования 0,005 мкс/кл.

6. Замечание по представлению материалов диссертационной работы. Все амплитудно-частотные характеристики, в диссертационной работе строились от частоты коммутации в Гц, тогда как на рис. 4.15 и 4.16 единица измерения частот меняется на рад/с. Такие вариации при представлении результатов исследования, затрудняют их восприятие и сопоставление с полученными ранее результатами.

### **Общая оценка работы**

Изучение представленных соискателем материалов позволяет оппоненту сделать следующие выводы. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы. Диссертационная работа вносит значимый вклад в область знаний, охватываемых данной научной специальностью.

Задачи, рассмотренные в диссертационной работе, являются актуальными. Теоретическая и практическая значимость работы однозначно присутствует и является достоверной.

Указанные замечания не снижают научной ценности представленной диссертации в целом. Основные положения диссертационной работы достаточно полно опубликованы автором, в том числе, в ведущих рецензируемых изданиях, были обсуждены на Всероссийских и международных конференциях. Автореферат диссертации в достаточной мере раскрывает основное содержание работы. Диссертация и автореферат изложены понятным техническим языком и надлежащим образом оформлены.

Диссертация Дубкова Евгения Александровича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-исследовательской работой, выполненной самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа выполнена на актуальную тему, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость.

### **Заключение по работе**

Представленная диссертационная работа выполнена на актуальную тему, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость. Предложенные в работе алгоритмы оптимизации параметров системы беспроводного заряда, могут быть реализованы в промышленных устройствах электропитания горно-шахтного электротранспорта.



Приведенные в отзыве официального оппонента замечания не снижают научной ценности диссертации. Дубкова Евгения Александровича на соискание ученой степени кандидата технических наук является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы», а также требованиям пунктов 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

Результат диссертационного исследования в полном объеме опубликованы в центральных журналах, рекомендованных списком ВАК, а также обсуждались на Всероссийских и международных конференциях, что соответствует пунктам 11 и 13 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

Оформление диссертационной работы соответствует принятым нормам и требованиям. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация Дубкова Евгения Александровича «Обоснование применимости систем беспроводного заряда для шахтного аккумуляторного электротранспорта», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» является завершенной научно-квалификационной работой. Новые научные результаты, полученные соискателем, имеют существенное значение для развития страны в области повышения энергоэффективности и эксплуатационных свойств горно-шахтного электрооборудования.

Работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», принятого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а **Дубков Евгений Александрович, заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Электропривода и  
автоматизации промышленных установок»,  
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный  
технический университет»

Д.А. Котин

24.11.2023 г.

Подпись кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электропривода и автоматизации промышленных установок» Д.А. Котина удостоверяю:

Начальник отдела кадров



О.К. Пустовалова

24.11.2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»: 630073, г. Новосибирск, пр-т. К.Маркса, 20, тел.+7 (383) 346-15-68, E-mail: rector@nstu.ru, Веб-сайт: [https:// www.nstu.ru](https://www.nstu.ru).