

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**
Московский пр., д.9, Санкт-Петербург, 190031
Телефон: (812) 457-86-28, факс: (812) 315-26-21
E-mail: dou@pgups.ru, http://www.pgups.ru
ОКПО 01115840, ОГРН 1027810241502,
ИНН 7812009592/ КПП 783801001

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор –
проректор по научной работе,
д.т.н. профессор



Т.С. Титова
2024 г.

№ _____
На № _____ от _____
Г _____

ОТЗЫВ

**ведущей организации - федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)
на диссертацию
Плетнева Дмитрия Сергеевича
«Бортовой накопитель энергии на электроподвижном составе
метрополитена», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
2.4.2. Электротехнические комплексы и системы**

1. Актуальность темы исследования

На сегодняшний день одним из важнейших видов транспорта в инфраструктуре любого мегаполиса является метрополитен.

В условиях постоянного роста протяженности линий Московского метрополитена, увеличения пассажиропотока, встает вопрос о необходимости увеличения количества поездов и их энергоэффективной эксплуатации. Обеспечение требуемой пропускной способности непосредственно завязано с увеличением интенсивности движения поездов, что влечет за собой необходимость усовершенствования технического оснащения, повышения надежности и энергоэффективности электроподвижного состава (ЭПС).

Высокая интенсивность движения электроподвижного состава, особенно в часы пик, в метрополитене характеризуется частыми пуско-тормозными режимами, что сопровождается высоким энергопотреблением и

негативно влияет на систему электроснабжения. Одним из наиболее перспективных методов решения данной проблемы является внедрение накопителей энергии (НЭ) на борт подвижного состава. При работе бортового НЭ можно повторно использовать значительную часть избыточной энергии рекуперации, при этом часть электроэнергии не расходуется на преодоление сопротивления кабелей подводящих линий и контактной сети, а также появляется дополнительная возможность автономного хода, что значительно повышает безопасность пассажиров и обслуживающего персонала.

Сохранение избытка энергии рекуперации, повышение надежности системы электроснабжения, улучшение климатических условий подземной части метро, автономный ход при помощи внедрения бортовых накопителей энергии является особо актуальной и ключевой задачей энергосбережения и безопасности на метрополитенах, что является крайне актуальным в настоящее время.

2. Оценка структуры и содержания работы

Содержание и структура работы находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования, критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования. Выдвигаемые соискателем обоснованные технические решения и разработки, а также сформированные в диссертации выводы и предложения, как результаты исследования, являются новыми.

3. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации

Содержание диссертации соответствует паспорту специальностей научных работников 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (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. 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) и технической отрасли науки.

4. Личный вклад соискателя в получении результатов исследования

Личный вклад соискателя состоит в теоретическом и экспериментальном исследовании данных о движении электроподвижного состава по линиям Московского метрополитена. Выведено решение задачи по формированию системы критериев по оценке эффекта от использования бортовых накопителей энергии (БНЭ) для принятия и повторного использования избыточной энергии рекуперации.

Личный вклад соискателя состоит в создании имитационной цифровой модели работы ЭПС с БНЭ в составе комплексной модели системы тягового электроснабжения (СТЭ), где была учтена работа силового оборудования тяговых подстанций и тяговой сети Московского метрополитена. При помощи модели были определены основные характеристики бортового накопителя энергии;

Личный вклад соискателя состоит в разработке структурной схемы и определении конструктивных особенностей БНЭ для использования на ЭПС Московского метрополитена;

Личный вклад соискателя состоит в осуществлении расчета технико-экономической оценки эффекта от применения БНЭ на ЭПС в условиях эксплуатации действующих линий Московского метрополитена.

5. Степень достоверности результатов исследования

Достоверность результатов исследования находит подтверждение при сравнении результатов вероятностного анализа данных, полученных при имитационном моделировании движения поезда с учётом СТЭ, с данными проведенных экспериментальных замеров движения поезда, прошедшего все станции Таганско-Краснопресненской линии Московского метрополитена.

Итоговые данные теоретических исследований работы бортовых накопителей энергии и предложения по схемным и конструкционным решениям не противоречат результатами системного анализа показателей работы схожих систем.

Положения работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: на 10 Международном симпозиуме ElTrans, «Электрификация и развитие ж. д. транспорта России. Традиции, современность, перспективы», С- Петербург, 2019 г.; на III, IV и V Международных выставках-конференциях «ИНТЕРМЕТРО», «Перспективы развития метрополитенов в условиях интенсивного внедрения новых технологий: инфраструктура и подвижной состав». МИИТ, 2019, 2021, 2023 гг.; на XXVII международной научно-технической конференции студентов и аспирантов

«Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (The 3rd IEEE 2021 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (IEEE REEPE 2021), 2021 г.; на международной конференции «V Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте». Омск, 2022.; на международной научной конференции ITSI (AIP Conference Proceedings), 2023 г.

6. Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Теоретическая значимость результатов исследования состоит в следующем:

Предложены критерии, определяющие эффективное использование бортовых накопителей электроэнергии на ЭПС Московского метрополитена. Разработаны технические решения для использования бортовых накопителей энергии направленные на экономию электроэнергии, приходящуюся на тягу поездов, повышение энергоэффективности системы тягового электроснабжения, обеспечение комфортности и безопасности пассажиров при аварийной эвакуации из тоннеля при пропаже электропитания тяговой сети.

Практическая ценность результатов состоит в следующем:

На базе проведенных исследований разработана комплексная имитационная модель, включающая в себя СТЭ вплоть до питающих центров, а также ЭПС, курсирующий в действующем графике движения поездов. Создана программа для расчёта параметров и экономического эффекта от внедрения БНЭ на основе статистической обработки данных экспериментальных замеров и результатов расчётов на имитационной модели. Предложены методы оценки технико-экономического эффекта от применения БНЭ в составе тягового оборудования ЭПС в отдельности и по системе тягового электроснабжения линии метрополитена в целом.

7. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертации результаты имеют важное практическое значение для повышения энергоэффективности работы ЭПС, для снижения нагрузки на оборудование СТЭ, для обеспечения безопасности эвакуации пассажиров при критических ситуациях в связи с пропажей электроснабжения от тяговых подстанций, для обеспечения безопасности рабочего персонала в депо.

Особенно актуальны новые технические решения на основе схемы БНЭ для ЭПС, которые найдут реализацию в составе силового оборудования ЭПС метрополитена, а также методы и средства оценки эффективности работы в составе тягового оборудования ЭПС в отдельности и по системе тягового электроснабжения линии метрополитена в целом с целью повышения энергоэффективности, безопасности пассажиров и обслуживающего персонала ЭПС в депо.

8. Новизна полученных результатов

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- определены электроэнергетические процессы в СТЭ метрополитена с учётом процессов энергообмена между ЭПС при использовании рекуперативного торможения. На базе полученных данных были разработаны алгоритмы работы и методика определения электротехнических параметров БНЭ;
- разработана комплексная имитационная модель СТЭ вплоть до питающих центров с учетом движения ЭПС в действующем графике движения;
- осуществлена актуализация имитационной модели для работы ЭПС в составе СТЭ по данным произведённых экспериментальных замеров процессов работы ЭПС Московского метрополитена в реальных условиях эксплуатации на действующей линии;
- определена методика оценки электротехнической эффективности использования БНЭ на ЭПС метрополитена;
- разработан метод оценки эффективности использования бортовых накопителей энергии в системе тягового электроснабжения, реализованный в единой цифровой среде с учётом потерь электроэнергии и компенсации затрат на поддержание работоспособного состояния электрооборудования СТЭ;
- предложена методика оценки срока службы БНЭ с учётом регрессии характеристик аккумулирующего элемента;
- определены электроэнергетические показатели автономного хода ЭПС с БНЭ при перевозке пассажиров из тоннеля до ближайших станций в аварийном режиме работы системы тягового электроснабжения;
- предложена методика оценки технико-экономического эффекта от применения БНЭ на ЭПС метрополитена.

9. Соответствие автореферата диссертации её содержанию

Автореферат диссертации соответствует её содержанию и полностью отражает её научную новизну и практическую значимость, а опубликованные

соискателем работы раскрывают основные положения диссертационного исследования.

10. Замечания по диссертации

1) При описании работы бортового накопителя энергии не понятно, какое минимальное напряжение накопителя в аварийном режиме?

2) В работе указано, что бортовые накопители электроэнергии могут использоваться на электровагонах Московского метрополитена типа 81-775/776/777 «Москва-2020» и 81-765/766/767 «Москва», однако приведены фотографии инструментального обследования только первого типа ЭПС. Было ли проведено инструментальное обследование второго типа ЭПС и имеется ли там свободное место для размещения БНЭ?

3) Почему при экспериментальном замере параметров движения ЭПС ток при работе состава в режиме тяги и режиме рекуперативного торможения имеет положительное значение в то время, как в программе обработки значения имеют отрицательный знак? Как в работе определялись моменты торможения поезда?

4) Из графика с электрическими параметрами движения поезда, полученного при имитационном моделировании, следует, что не всегда вырабатывается энергия при рекуперативном торможении. Почему?

5) В работе указана энергоемкость накопителя 6 кВт·ч. Почему выбрана именно такая величина энергоемкости?

6) Не понятно, почему в таблице 6 отсутствуют значения в ячейках следующих столбцов: Укс, Iтп, Uаб?

11. Заключение по диссертации о соответствии её требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней»

Диссертация Плетнева Д.С. выполнена самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения (согласно требованиям п. 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»).

Работа написана научным языком, с применением терминов, характерных для области проведенных исследований. Для каждого раздела диссертации сделаны выводы, а для всей работы дано общее заключение.

Диссертация Плетнева Дмитрия Сергеевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки по внедрению в состав силового оборудования ЭПС метрополитена бортового накопителя энергии для сохранения и повторного использования избыточной энергии

рекуперации, что позволит снизить нагрузку на систему тягового электроснабжения и осуществить функцию автономного хода при аварийной ситуации в СТЭ, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки).

Заключение рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Электроснабжение железных дорог» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 19 марта 2024 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой
«Электроснабжение железных дорог»,
д.т.н., профессор


Агунов
Александр Викторович

Секретарь кафедры
«Электроснабжение железных дорог»


Иванова
Элла Александровна

Я, Титова Тамила Семёновна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 40.2.002.11 и их дальнейшую обработку.

«20» 03 2024 г.


Т.С. Титова