

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента
Суслова Константина Витальевича
на диссертационную работу Орла Евгения Александровича
на тему «Повышение энергоэффективности автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии путем адаптивной регулировки режимов их работы» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.4.2. – «Электротехнические комплексы и системы»

1. Актуальность темы диссертации

Районы децентрализованного электроснабжения занимают около 60-65% территории Российской Федерации и находятся преимущественно в северной части страны. Для таких территорий характерно наличие рассредоточенных потребителей, электроснабжение которых может обеспечиваться только с помощью децентрализованных источников электроэнергии. Следует отметить достаточно низкую эффективность таких систем, наличие проблем, связанных с удаленностью рассматриваемых территорий, а также низкий технический уровень оборудования, что характерно для давно существующих систем советского и постсоветского периодов. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. предусматривает замещение 20 млн т. у. т. традиционных энергоносителей за счет возобновляемых источников энергии. Внедрение технологий возобновляемой энергетики, при рациональном использовании, может оказать помощь в энергообеспечении районов со слабой топливной базой и трудной логистикой, решить проблему эффективного использования потребляемых ресурсов, улучшить экологическую обстановку в местах производства тепловой и электрической энергии, что будет способствовать ускоренному экономическому развитию регионов и улучшению социально-бытовых условий жизни населения. В связи с этим тематика работы соискателя является актуальной.

2. Научная новизна диссертации

В диссертационной работе Орла Е.А. исследуется автономный электротехнический комплекс с возобновляемыми источниками энергии и дизель-генераторной установкой в качестве резервного источника электроснабжения для нагрузки расчетной мощностью до 100 кВт.

Соискателем установлены зависимости потерь электроэнергии в полупроводниковых преобразователях автономного электротехнического комплекса от емкости аккумулятора и доли возобновляемых источников в энергопотреблении с учетом соотношений номинальных мощностей фото- и ветроэлектрических установок, позволяющие обосновать структуру и выбор

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-308 ОТ 27.06.25
АУ УС

параметров комплекса, обеспечивающих бесперебойность электроснабжения потребителей.

При помощи имитационного компьютерного моделирования соискателем установлена зависимость потерь электроэнергии в полупроводниковых преобразователях автономного электротехнического комплекса с отдельной работой дизель-генераторной установки и возобновляемых источников энергии, связанных согласующей шиной постоянного тока, от фиксированного рабочего напряжения шины с учетом вариации профилей генерации возобновляемых источников.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректностью принятых допущений, применением апробированных методов математического моделирования. Использовались методы имитационного компьютерного моделирования в лицензированных программных средах. Полученные математические модели подтверждены натурным лабораторным экспериментом.

4. Научные результаты, их ценность

В диссертационной работе представлен ряд новых научных результатов, среди которых наиболее ценными являются следующие:

- Проведен сравнительный анализ пяти обобщенных структурных схем построения автономного электротехнического комплекса с возобновляемыми источниками энергии для нагрузки расчетной мощностью до 100 кВт по критерию электрических потерь в полупроводниковых преобразователях. Составлен алгоритм расчета потерь электроэнергии в преобразователях в зависимости доли возобновляемых источников в энергопотреблении с учетом соотношений номинальных мощностей фото- и ветроэлектрических установок и емкости аккумуляторной батареи; на его основе разработана программа для ЭВМ на языке программирования Python.

- Получена математическая модель для расчета суммарных потерь мощности в полупроводниковых преобразователях в составе автономного электротехнического комплекса с согласующей шиной постоянного тока, относительно уровня напряжения шины.

- Предложен алгоритм адаптивного регулирования уровня напряжения согласующей шины постоянного тока в зависимости от величины текущей мощности генерации фото- и ветроэлектрической установок и мощности потребления нагрузки, дана оценка экономического и экологического эффекта от его внедрения.

Указанные результаты имеют высокую теоретическую и практическую ценность для проектирования автономных электротехнических комплексов с

возобновляемыми источниками энергии, используемых для электроснабжения маломощных потребителей на изолированных труднодоступных территориях.

5. Публикации

Научные результаты диссертации в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 2 статьях в изданиях из Перечня ВАК и в 2 статьях в изданиях, входящих в международную систему цитирования Scopus, в 1 патенте на изобретение.

6. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Разработанный соискателем алгоритм расчета потерь электроэнергии в полупроводниковых преобразователях с учетом доли возобновляемых источников в энергопотреблении и соотношений номинальных мощностей фото-, ветроэлектрических установок и емкости аккумуляторной батареи может быть использован другими коллективами авторов в качестве теоретической основы для исследования автономных электротехнических комплексов, работающих в зонах децентрализованного электроснабжения.

Предложенный алгоритм адаптивного управления полупроводниковыми преобразователями для задания оптимального режима их работы, характеризующегося наименьшими потерями электроэнергии, может быть использован при модернизации и разработке новых автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии.

7. Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные автором результаты применимы в качестве теоретической основы и практического руководства при модернизации и создании новых автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии, используемых для электроснабжения маломощных потребителей на изолированных труднодоступных территориях Российской Федерации.

8. Структура и общее содержание работы

Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка сокращений, списка литературы, включающего 157 наименований, и 2 приложения. Диссертация изложена на 159 страницах машинописного текста, содержит 97 рисунков и 33 таблицы.

Во *введении* изложены актуальность, цель, задачи работы, научная новизна и защищаемые положения.

В *первой главе* изложено современное состояние возобновляемой энергетики в России, затронута проблема электроснабжения изолированных труднодоступных территорий, рассмотрен потенциал использования автономных электротехнических комплексов (ЭТК) с применением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для таких территорий, проведен

анализ современного уровня развития ВИЭ, накопителей электроэнергии, полупроводниковых преобразователей электроэнергии. Рассмотрены методы выбора номинальных параметров источников и накопителей электроэнергии в автономных ЭТК с ВИЭ.

Во *второй главе* проанализированы пять обобщенных структурных схем построения автономных ЭТК с ВИЭ малой мощности для изолированных труднодоступных территорий, разработан алгоритм расчета номинальных параметров автономного ЭТК с ВИЭ, обеспечивающих бесперебойность электроснабжения потребителей, а также расчета потерь электроэнергии в полупроводниковых преобразователях электроэнергии, обоснован выбор структуры и параметров автономного ЭТК с ВИЭ для электроснабжения нагрузки расчетной мощностью до 100 кВт.

В *третьей главе* построена имитационная компьютерная модель автономного ЭТК с ВИЭ, разработана математическая модель оценки потерь электроэнергии в полупроводниковых преобразователях электроэнергии, разработан алгоритм адаптивной регулировки режимов работы полупроводниковых преобразователей электроэнергии для снижения потерь электроэнергии, проведена оценка повышения энергоэффективности автономного ЭТК с ВИЭ с учетом разработанного алгоритма.

В *четвертой главе* предложена техническая реализация автономного ЭТК с адаптивным регулированием, проверено влияние регулировки уровня напряжения шины постоянного тока на потери электроэнергии в полупроводниковых преобразователях электроэнергии, проведен анализ быстродействия алгоритма с учетом инерционности процессов регулирования. Проведена оценка экономической эффективности внедрения адаптивного регулирования и оценка экологического воздействия при его использовании.

В *заключении* представлены выводы по результатам исследований в соответствии с целью и решенными задачами.

9. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат полностью и корректно отражает основное содержание диссертации в кратком изложении.

10. Замечания и вопросы по работе

Диссертационная работа и автореферат написаны ясным научным языком. Построение диссертации, в целом, характеризуется доступностью для понимания. По тексту диссертационной работы возникают следующие вопросы и замечания:

1. На имитационной компьютерной модели ветроэлектрической установки (ВЭУ), представленной на рисунке 3.5 (стр. 67), номинальная мощность указана равной 7500 Вт. При этом выше в тексте диссертации (стр. 57) указано, что установленная мощность ВЭУ равна 25 кВт. Имеется

несоответствие описания параметров ВЭУ, которое, впрочем, было устранено на этапе имитационного компьютерного моделирования.

2. В математической модели расчета потерь мощности (стр. 86) принято допущение, что температура силовых полупроводниковых элементов постоянна. Насколько обосновано данное допущение? Электротехнический комплекс работает круглогодично, при этом электрическая нагрузка на преобразователи изменяется в широких пределах из-за стохастического характера генерации возобновляемых источников. Таким образом, существует ли в реальных условиях эксплуатации возможность поддержания постоянства температуры? Насколько критичен учет температуры силовых полупроводниковых элементов для результатов расчета потерь мощности?

3. Расчет потерь мощности в полупроводниковых преобразователях и поиск оптимального значения напряжения шины постоянного тока, осуществляемый вычислительным блоком (стр. 106), основан на методе последовательного перебора значений напряжения шины. Данный метод характеризуется низким быстродействием, нагружая вычислительный блок большим числом расчетных итераций. Была ли возможность использовать другие вычислительные методы?

4. В автореферате указано, что за основу для моделирования солнечного излучения принята модель Лю и Джордана. Данный метод подразумевает разделение солнечного излучения на три составляющие: прямую, диффузную и отраженную. При этом в тексте диссертации (стр. 62) отраженная составляющая излучения отсутствует. Обычно при отсутствии рядом водной глади и отсутствия зимой снежного покрова, отраженной составляющей, действительно, можно пренебречь в силу ее малости. Однако, указания на причину ее отсутствия в тексте диссертации не приведено.

5. В работе не дано обоснование выбора схем полупроводниковых преобразователей электроэнергии (стр. 72, 74, 77, 79). По каким критериям выбраны схемы? В каких диапазонах мощности они применимы?

6. В диссертации выполнена оценка временной задержки на выполнение адаптивного регулирования режимов работы полупроводниковых преобразователей (стр. 127). Однако, приведенная оценка достаточно субъективна. На длительность задержки влияют загрузка полупроводниковых преобразователей, частота преобразования, установленная мощность энергопреобразующей аппаратуры. Соискателю целесообразно дополнить исследование осциллограммами переходных процессов при регулировании режимов работы полупроводниковых преобразователей и на основании длительности данных процессов выполнить оценку временной задержки.

7. В списке сокращений и условных обозначений не приведены такие сокращения как ВАХ, ВВХ, ОС и др., упомянутые в тексте диссертации. Перепутаны буквы в сокращении ВБ (стр. 137).

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку полученных автором результатов.

11. Заключение по диссертации

Диссертационная работа «Повышение энергоэффективности автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии путем адаптивной регулировки режимов их работы» соискателя Орла Евгения Александровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение актуальной научно-технической задачи по снижению уровня электрических потерь в полупроводниковых преобразователях электроэнергии.

Диссертационная работа по актуальности, обоснованности научных данных, новизне, теоретической и практической значимости соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 №953 адм.), а ее автор, Орел Евгений Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент,
профессор кафедры ГВИЭ НИУ «МЭИ»,
д.т.н., доцент, научная специальность
05.14.02 — «Электрические станции и
электроэнергетические системы»



Суслов
Константин
Витальевич

18 июня 2025 г.

E-mail: SuslovKV@mpei.ru,
Тел.: +7 (495) 362-75-60

Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Адрес организации: 111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, дом 14, стр. 1.

Телефон организации: +7 (495) 362-75-60

Адрес электронной почты организации: universe@mpei.ac.ru

Web-сайт организации: <https://mpei.ru/>

Подпись Суслова К.В. заверяю



Заместитель начальника
Управления по работе с персоналом
И. И. Родина