



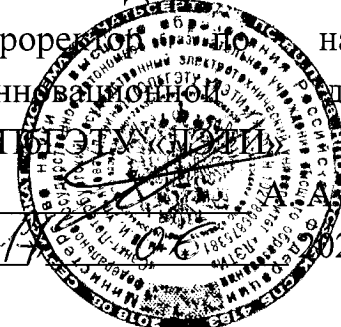
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

ул. Профессора Попова, д.5 литера Ф, Санкт-Петербург, 197022
Телефон: (812) 234-46-51; факс: (812) 346-27-58; e-mail: info@etu.ru; <https://etu.ru>
ОКПО 02068539; ОГРН 1027806875381; ИНН/КПП 7813045402/781301001

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и
инновационной деятельности
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
А. Семенов
«___» 2025 года



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» на диссертацию Орла Евгения Александровича на тему «Повышение энергоэффективности автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии путем адаптивной регулировки режимов их работы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы

1. Структура и объем диссертации

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

2. Актуальность темы диссертации

В «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» одной из целей предусмотрено развитие малой энергетики в зонах децентрализованного энергоснабжения и повышение эффективности использования местных энергоресурсов. На сегодняшний день энергообеспечение в изолированных и труднодоступных территориях осуществляется, в основном, дизельными электростанциями. Высокая стоимость дизельного топлива значительно увеличивает себестоимость производимой электроэнергии.

Принимая во внимание трудности с доставкой топлива, получила распространение практика использования автономных гибридных электротехнических комплексов, совмещающих работу дизель-генераторных установок с возобновляемыми источниками энергии (фото- и ветроэлектрическими установками) и системами накопления энергии. Технологии возобновляемой энергетики активно развиваются, однако помимо увеличения уровня генерации, необходимо также обеспечивать эффективное использование сгенерированной электроэнергии, минимизацию потерь при передаче электроэнергии к конечному потребителю.

Согласование работы электрогенерирующих установок в гибридных автономных электротехнических комплексах, как правило, осуществляется импульсными полупроводниковыми преобразователями. В условиях нестабильной генерации возобновляемых источников энергии режим работы полупроводниковых преобразователей зачастую отклоняется от номинального, притом что каждый преобразователь имеет наилучшие энергетические характеристики в номинальном режиме работы, на который он спроектирован. В результате общий уровень потерь электроэнергии в преобразователях увеличивается, снижая энергоэффективность всего электротехнического комплекса. Перспективным способом снижения потерь в преобразователях является использования адаптивных алгоритмов управления режимами работы энергопреобразующей аппаратуры.

Таким образом, тема диссертации Орла Евгения Александровича является актуальной, поскольку снижение потерь электроэнергии в полупроводниковых преобразователях позволит обеспечить повышение коэффициента использования установленной мощности возобновляемых источников энергии, снизит срок окупаемости капитальных инвестиций.

3. Научная новизна

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Установлены зависимости потерь электроэнергии в полупроводниковых преобразователях автономного электротехнического комплекса с фото- и ветроэлектрическими установками от емкости аккумуляторной батареи и доли возобновляемых источников в энергопотреблении с учетом соотношений номинальных мощностей фото- и ветроэлектрических установок, позволяющие обосновать структуру и выбор параметров комплекса, обеспечивающих бесперебойность электроснабжения потребителей.

2. Установлена зависимость потерь электроэнергии в полупроводниковых преобразователях автономного электротехнического комплекса с фото- и ветроэлектрическими установками при раздельной работе резервного источника электроснабжения (дизель-генераторной установки) с возобновляемыми источниками, связанными согласующей шиной постоянного тока, от фиксированного рабочего напряжения шины с учетом вариации профилей генерации возобновляемых источников.

4. Практическая значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

Практическая значимость диссертации заключается в разработке алгоритма адаптивного управления полупроводниковыми преобразователями для задания оптимального режима работы, характеризующегося наименьшими потерями электроэнергии в преобразователях. Алгоритм может быть использован в качестве теоретического руководства или экспериментальной базы при проектировании новых или модернизации существующих автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии малой мощности.

Разработанный соискателем метод снижения потерь электроэнергии в полупроводниковых преобразователях внедрен в производственную деятельность АО «НПП «Ленинец».

5. Оценка содержания работы

Тема диссертации «Повышение энергоэффективности автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии путем адаптивной регулировки режимов их работы» соответствует паспорту научной специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы» по пунктам:

п. 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.

п. 3. Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных Scopus. Получен патент на изобретение (номер патента 2786935). Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены на 3 всероссийских и международных конференциях.

6. Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. На профилях потребления электроэнергии нагрузкой, приведенных на рисунке 2.2, представлено усредненное значение нагрузки. В реальных условиях эксплуатации существует вероятность возникновения кратковременного скачкообразного повышения

нагрузки, например, при динамических режимах работы механических исполнительных устройств. Учитывался ли соискателем данный факт при выборе установленной мощности полупроводниковых преобразователей?

2. На рисунке 1.9 приведены основные рассматриваемые принципы управления дизель-генераторными установками с возобновляемыми источниками энергии. Исходя из описания можно предположить, что речь идет о независимом управлении (работа возобновляемого источника на нагрузку через одиночный автономный инвертор напряжения без синхронизации с дизель-генераторной установкой), работе возобновляемого источника энергии на нагрузку через инвертор в режиме источника тока (в англоязычной литературе такие преобразователи носят название «ведомых сетью» или «grid following») и работе возобновляемого источника на нагрузку через инвертор в режиме источника напряжения, синхронного с дизель-генераторной установкой (в англоязычной литературе такие преобразователи носят название «формирующих сеть» или «grid forming»). Однако, сами различия явно не описаны. Хотелось бы увидеть описание потенциально реализуемых в этих схемах алгоритмов управления преобразователем и режимов работы источников энергии. Принципиальный отказ от принципа управления, обозначенного как «смешанный» при работе возобновляемого источника энергии с дизель-генераторной установкой никак не обоснован. При этом необходимые мощности источников могут быть меньше, чем выбранные в работе, а потери будут меньше исходя из полученных в работе выводов.

3. В разделе 1.5.3 производится сравнение накопителей энергии и выбор типа аккумуляторной батареи. При этом не рассматриваются, например, натрий-ионные аккумуляторы с диапазоном рабочих температур от минус 40 до плюс 60 °С. Рассматриваемые литий-железо-фосфатные аккумуляторы имеют рабочий диапазон температур от минус 20 до плюс 55 °С. В работе подразумевается применение разрабатываемого комплекса для изолированных территорий РФ, где наблюдаются температуры существенно ниже нуля. Менее емкий накопитель, работающий в большем диапазоне температур, может оказаться эффективнее емкого, снабженного системой кондиционирования, а работа направлена как раз на повышение эффективности. Рассматривались ли вопросы повышения эффективности комплекса при физической реализации с учетом климатических требований.

4. На стр 42-43 при сравнении вариантов соединения источников на постоянном и переменном токе не учтено, что релейно-защитная аппаратура на постоянном токе имеет большие массогабаритные размеры, дороже и менее доступна. Работа релейно-защитной аппаратуры на переменном токе проработана значительно лучше. При этом представленная работа не рассматривает управление преобразователем и процесс согласования источников, а потому следовало рассмотреть все схемы с точки зрения эффективности.

5. В таблице 2.4 не рассматривается вариант искусственного снижения генерации возобновляемого источника энергии при превышении генерируемой мощности потребной мощности нагрузки. Оценивалось ли, что эффективнее: сгенерировать энергию и рассеять

ее на балластной нагрузке или искусственно снизить генерацию? Ведь цель исследования заключается в повышении эффективности.

6. В разделе 2.5 делаются выводы о необходимости увеличивать минимальную емкость накопителя для того, чтобы не рассеивать сгенерированную энергию. С учетом предыдущего замечания этот вывод требует дополнительного обоснования.

7. На рисунке 3.14 приведена схема повышающего полупроводникового преобразователя энергии на основе соединения неуправляемого мостового выпрямителя с последующим повышающим преобразователем постоянного напряжения. Рассматривалась ли возможность использования активного мостового выпрямителя без повышающего преобразователя? В каком случае выше эффективность?

8. Не очевидно соответствие модели инвертора, приведенной на рисунке 3.20, схеме выпрямителя, приведенной на рисунке 3.18. Почему в качестве нагрузки мостового инвертора (рисунок 3.20) используется LC цепь? Имеется ввиду, что нагрузка сети не имеет активной составляющей (имеет индуктивную и емкостную компоненты) или сам преобразователь является резонансным и реализуется не широтно-импульсное регулирование, а, например, частотное, а напряжение нагрузки подается на обмотку трансформатора? Почему в модели инвертора нет модели трансформатора LC-фильтра, приведенных на схеме рисунка 3.18?

9. При анализе диссертации складывается впечатление, что целью исследования является общее повышение КПД электротехнического комплекса. При этом кажется, что в условиях изолированной территории должна решаться и задача минимизации использования дизель-генераторной установки, требующей как доставки топлива, так и технического обслуживания. В этом смысле, возможно, не всегда необходимо обеспечивать оптимальный режим работы полупроводникового преобразователя энергии по минимуму потерь, а обеспечить соответствующие режимы работы дизель-генераторной установки. Возможно, стоило бы ввести некоторую систему весовых коэффициентов, определяющих приоритетность используемого источника энергии и по этому критерию?

10. Насколько соответствуют расчетные результаты, полученные при помощи математической модели, экспериментальным результатам на имитационном лабораторном стенде, если принять во внимание погрешность измерительного оборудования?

11. Учитывалось ли отклонение реальной емкости аккумуляторной батареи от паспортного значения при различных токах разряда батареи?

12. Для моделирования работы электротехнического комплекса в Matlab/Simulink в разделе 3.5 диссертации (стр. 108) использован временной шаг дискретизации 1 час. Чем обоснован выбор данного шага дискретизации? Не является ли он слишком большим?

13. Из текста диссертации не ясно, принимал ли соискатель во внимание деградацию солнечных панелей с течением времени в процессе работы электротехнического комплекса. Из-за деградации к концу срока эксплуатации панели могут терять до четверти вырабатываемой мощности при том же количестве солнечного света.

14. Чем обусловлен факт, что все основные публикации по теме диссертации выполнены до 2023 года?

Высказанные вопросы и замечания носят рекомендательный характер для последующих исследований по данной теме диссертации, не снижая научной значимости работы.

7. Заключение

Диссертация Орла Евгения Александровича «Повышение энергоэффективности автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии путем адаптивной регулировки режимов их работы», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а автор диссертации – Орел Евгений Александрович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Отзыв на диссертацию и автореферат Орла Евгения Александровича подготовлен, обсужден и утвержден на заседании кафедры систем автоматического управления (САУ) ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)». Протокол № 06-1/2025 от 17.06.2025 г.

Доклад Орла Евгения Александровича заслушан на данном заседании.

И. о. зав. каф. САУ

канд. техн. наук, доцент

доктор техн. наук, профессор

Ученый секретарь каф. САУ

канд. экон. наук, доцент

 Доброскок Н. А.

 Кузнецов В. Е.

 Русяева Т. Л.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)».

Адрес: ул. Профессора Попова, д. 5 литера Ф, г. Санкт-Петербург, 197022 Телефон: +7 (812) 234-46-51 Адрес электронной почты: info@etu.ru Сайт: <https://www.etu.ru/> Кафедра систем автоматического управления +7 (812) 234-68-18 e-mail: nadobroskok@etu.ru