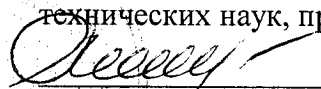


«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и
инновационной
деятельности Федерального
государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Омский государственный
технический университет», доктор
технических наук, профессор

 П.С. Ложников
« 1 » 09 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» на диссертационную работу Емельянова Евгения Александровича «Гибридный электротехнический комплекс с дизель- и ветроэлектрической установками для автономного электроснабжения поселения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы»

На отзыв представлена диссертация «Гибридный электротехнический комплекс с дизель- и ветроэлектрической установками для автономного электроснабжения поселения», которая состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 141 странице машинописного текста, содержит 54 рисунка, 21 таблицу, список литературы из 166 наименований.

Актуальность темы исследования

Диссертация Емельянова Евгения Александровича посвящена решению задачи повышения эффективности при одновременном (гибридном) использовании в одном электротехническом комплексе различных по физической природе источников электроснабжения: дизельгенераторных установок (ДГУ), ветроэнергетических установок (ВЭУ) и систем накопления электрической энергии (СНЭ) для автономного электроснабжения поселения на изолированных и труднодоступных территориях.

ОТЗЫВ

ВХ. № 501 от 08.09.26
АВ УС

Актуальность темы определяется недостаточной изученностью вопросов установления взаимосвязи параллельной работы автономных источников питания, их взаимного влияния на режим и устойчивость системы электроснабжения.

В диссертации Емельянова Е.А. подробно проанализированы пути и решены задачи, направленные на повышение энергоэффективности гибридного электротехнического комплекса (ЭТК), а именно:

1. Определены методы и критерии оптимизации гибридных ЭТК.
2. Предложена методика оценки эффективности работы ДГУ на основе математической зависимости удельного расхода топлива от ее номинальной мощности с учетом годового графика часовых нагрузок.
3. Разработана имитационная модель для расчета показателей гибридного электротехнического комплекса с учетом фактической конфигурации распределительного устройства, показателей надежности элементов системы электроснабжения и категорий потребителей.
4. Обоснован выбор показателей гибридного ЭТК и их оценка влияния на режим электроснабжения.
5. Установлены математические выражения, устанавливающие взаимосвязь показателей гибридного ЭТК от режима работы систем накопления электрической энергии.
6. Разработан адаптивный алгоритм управления минимальным уровнем заряда систем накопления электрической энергии с целью повышения надежности ЭТК в целом.

В диссертационной работе рассматривается параметрическая оптимизационная задача, направленная на определение параметров ветроэнергетических установок, ДГУ и СНЭ путем анализа целевой функции минимизации экономических затрат.

Оценка структуры и содержания работы

Краткая характеристика работы. Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования, критерию внутреннего единства. Диссертация написана ясно, использованная терминология и стиль соответствуют общепринятым нормам.

Во введении дана общая характеристика работы: актуальность, цель и основные задачи исследования, научная новизна и практическая значимость, методология и методы исследования, достоверность, реализация и внедрение полученных результатов, апробация и публикации, защищаемые положения. Приведены структура и краткое содержание диссертации.

В первой главе рассматривается современное состояние проблемы автономного электроснабжения на изолированных и труднодоступных территориях. Представлен обзор

электроснабжения по субъектам Российской Федерации с указанием удельных расходов электроэнергии. Показано, что децентрализация электроснабжения носит глобальный характер в мировом масштабе, что делает актуальным исследование и применение автономного ЭТК с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ).

Также в первой главе приведен обзор использования ВИЭ в Российской Федерации и за ее пределами. Подробно рассмотрены варианты применения ветроэнергетических установок, дизельных электрических станций и накопителей электрической энергии в одном ЭТК системы электроснабжения. Комплексный подход для определения параметров устойчивости и надежности основывается на приведенной оценке показателей надежности гибридного ЭТК. Соискателем составлены показатели надежности основного оборудования (шина 0,4 кВ, автоматический выключатель, ДГУ, ВЭУ, а также выпрямительные и инверторные установки).

Вторая глава посвящена имитационному моделированию гибридного ЭТК для изолированного объекта электроснабжения. Для рассматриваемого объекта указана общая характеристика, основные потребители электрической энергии и сезонные графики нагрузки, особенности климатической зоны.

Рассматриваются схемы распределительного устройства с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), накопителей электрической энергии и ДГУ. Обзор основных сценариев аварийных ситуаций объекта электроснабжения позволяет определить режимы моделирования, представляющих особый интерес при работе гибридного ЭТК.

В главе подробно рассмотрен алгоритм имитационного моделирования с целью определения основных экономических показателей на основе баланса мощности нагрузки, ДГУ, ВЭУ, СНЭ. Приведен расчет промежуточных значений оцениваемых показателей: нормированная стоимость электроэнергии, вероятность потери электроснабжения, вероятность потери нагрузки. Для учета стохастического характера отказов оборудования для оценки показателей гибридного ЭТК применяется метод Монте-Карло.

Также рассматривается моделирование отказа оборудования гибридного ЭТК: разработаны математические модели ДГУ, ВЭУ, СНЭ. Для каждой модели разработаны таблицы дискретных состояний, используемые для оценки эффективности работы указанных составляющих гибридного ЭТК.

В третьей главе рассматривается выбор схемы распределительного устройства ЭТК. Для выявления наиболее значимых параметров, влияющих на режим гибридного ЭТК, выполнена оценка чувствительности методом Соболя нормированной стоимости электроэнергии, вероятности потери электроснабжения, вероятности потери нагрузки, расход дизельного топлива и наработки ДГУ к изменению показателей надежности оборудования, параметров оборудования и экономических показателей параметров системы. На основе анализа расхода

топлива, установленной мощности ВЭУ с учетом износа ДГУ представлена методика выбора количества и номинальной мощности ДГУ. Проведено имитационное моделирование работы гибридного ЭТК при изменении распределения потребителей по категориям надежности электроснабжения. Приведены зависимости нормированной стоимости электроэнергии и вероятности потери нагрузки от распределения потребителей по категориям надежности для одиночной и двойной систем шин. На основании выполненных исследований приведено обоснование схемы распределительного устройства гибридного ЭТК.

В четвертой главе представлено обоснование параметров и режима работы системы накопления электрической энергии: резервный режим работы СНЭ и режим замещения генерации ДГУ. Показано, что наибольший интерес представляет максимальный ток разряда, увеличении которого позволяет использовать СНЭ меньшей установленной емкости. Представлены зависимости расхода топлива и моточасов ДГУ в зависимости от емкости СНЭ и максимального тока разряда.

Разработан адаптивный алгоритм управления минимальным уровнем заряда СНЭ и выполнена его оценка эффективности. Алгоритм управления учитывает баланс генерации ВЭУ и нагрузки, а также состояние ДГУ. Определены весовые коэффициенты, позволяющие достичь минимальных значений вероятности потери нагрузки для вариантов гибридного ЭТК с ВЭУ с мощностью от 25% до 300% относительно расчетной нагрузки. Показано, что адаптивное управление минимальным уровнем заряда СНЭ обеспечивает снижение нормированной стоимости электроэнергии, вероятности потери электроснабжения и вероятности потери нагрузки.

В заключении представлено обобщение результатов, полученных в диссертационной работе.

Новизна полученных результатов

Новизна полученных диссертантом результатов заключается в том, что определены зависимости нормированной стоимости электроэнергии, вероятности потери электроснабжения и нагрузки гибридного ЭТК от допустимых максимальных токов разряда и заряда, емкости и минимального уровня заряда СНЭ, а также разработан адаптивный алгоритм управления минимальным уровнем заряда СНЭ в составе гибридного ЭТК, обеспечивающий снижение нормированной стоимости электроэнергии и вероятностей потери электроснабжения и нагрузки.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность полученных Емельяновым Е.А. результатов базируется на методах математического моделирования, использовании статистических методов, включая метод Монте-Карло и метод глобальной оценки чувствительности Соболя, а также проверкой

согласованности полученных зависимостей и результатов с теоретическими положениями, обусловлена корректностью постановки задач, адекватностью используемых при исследованиях математических моделей, методов и алгоритмов, апробацией как предварительных, так и окончательных результатов диссертационной работы.

Значимость для науки и практики результатов диссертационного исследования заключается в том, что результаты проведенного исследования могут быть использованы в качестве методических рекомендаций по выбору параметров электротехнических комплексов с ветроэлектрическими установками, а также при проведении технико-экономического обоснования внедрения систем с возобновляемыми источниками энергии и систем накопления энергии для автономного электроснабжения.

Результаты диссертации внедрены в инженерно-проектировочную деятельность ООО «Балтэнерготех» в виде: технических предложений и рекомендаций по выбору схем распределительного устройства и номинальных параметров гибридного электротехнического комплекса с дизель- и/или ветроэлектрической установками

Кроме этого, результаты исследования и разработанные математические модели могут быть применены в учебном процессе при изучении дисциплин по электроснабжению в рамках подготовки студентов по направлению 13.03.02 и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

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 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. В результате выполненного исследования соискателем получены 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие паспорту специальности

Диссертация соответствует 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.

В рамках работы изложены новые научно обоснованные технические положения и технологические решения по применению гибридного ЭТК для автономного электроснабжения:

1. В гибридном электротехническом комплексе следует применять двойную систему шин в качестве схемы низковольтного распределительного устройства, которая в отличие от одиночной секционированной шины обеспечивает снижение вероятностей потери электроснабжения на 5–32% и нагрузки на 3–17% при минимуме нормированной стоимости электроэнергии.

2. Снижение нормированной стоимости электроэнергии, вероятностей потери электроснабжения и нагрузки гибридного электротехнического комплекса достигается путем адаптивного изменения минимального уровня заряда системы накопления энергии на основе разработанного алгоритма управления, позволяющего исключить работу дизель-генераторных установок в неэкономичных режимах.

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертаций

Результаты работы могут применяться в качестве методических рекомендаций по выбору параметров электротехнических комплексов с ветроэлектрическими установками, а также при проведении технико-экономического обоснования внедрения систем с возобновляемыми источниками энергии и систем накопления энергии для автономного электроснабжения.

Результаты диссертации внедрены в инженерно-проектировочную деятельность ООО «Балтэнерготех» в виде: технических предложений и рекомендаций по выбору схем распределительного устройства и номинальных параметров гибридного ЭТК.

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты и выводы диссертационного исследования, а также разработанные программы для ЭВМ могут применяться при технико-экономическом обосновании проектов по созданию и модернизации автономных систем электроснабжения поселений Арктической зоны, Сибири и Дальнего Востока, а также иных объектов с децентрализованным электроснабжением и достаточным ветроэнергетическим потенциалом.

Полученные результаты позволяют проводить выбор и обоснование состава и параметров оборудования гибридного электротехнического комплекса с ветроэлектрическими установками.

Материалы диссертации также могут использоваться в образовательном процессе при подготовке специалистов по электротехническим комплексам, системам электроснабжения и возобновляемой энергетике.

Замечания по диссертационной работе и автореферату

1. В диссертационной работе приведены показатели надежности основного оборудования гибридного ЭТК (стр. 44, табл. 1.8), однако, не приведены расчеты надежности электроснабжения для различных схемных решений распределительного устройства, в частности, не определены индексы средней частоты и продолжительности отключений в автономной энергосистеме при электроснабжении гибридным ЭТК.

2. В диссертационной работе проведено исследование стационарных математических моделей, в связи с чем не учитываются динамические процессы как отдельных подсистемах комплекса, так и ЭТК в целом. Указанное обстоятельство не позволяет оценить влияние отдельных подсистем в аварийных режимах работ при электромагнитных и электромеханических переходных процессах.

3. В модели отказов используются постоянные интенсивности отказов и восстановления, а время безотказной работы подчиняется экспоненциальному распределению. Не учитываются зависимость надежности от загрузки оборудования и погодных условий, плановые отключения шин и техническое обслуживание ветроэлектрических установок. Как скажется данное допущение показателях надежности и на преимуществе выбранной схемы распределительного устройства?

4. Доли потребителей I, II и III категорий надежности принимаются неизменными в каждом часовом интервале, а нагрузка между шинами распределяется равномерно. В реальном поселении потребители разных категорий имеют различные суточные и сезонные графики.

5. При сравнении схем стоимость секционированной и двойной систем шин принимается соответственно в 1,5 и 1,7 раза выше базовой. При этом надежность присоединений и автоматических выключателей учитывается в составе эквивалентных узлов, но не анализируется отдельно при увеличении числа коммутационных аппаратов. Чем обоснованы принятые стоимостные коэффициенты 1,5 и 1,7?

6. В разделе 2.4 приведена формула определения необходимого объема выборки для метода Монте-Карло при относительной погрешности 10%, однако конкретные значения фактического объема выборки, дисперсии и доверительных интервалов для LCOE, LOLP и LPSP не представлены. Их указание позволило бы полнее оценить статистическую достоверность результатов.

7. Достоверность разработанной комплексной модели подтверждается согласованностью результатов с теоретическими положениями, однако отсутствует ее проверка по данным эксплуатации реального гибридного комплекса либо на имитационном лабораторном стенде. Целесообразно провести такую проверку при дальнейшем развитии работы, прежде всего для адаптивного алгоритма управления системой накопления энергии.

Высказанные замечания имеют рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации, ее научной новизны и практической значимости.

Заключение

Постановка задач, рассмотренных в диссертационной работе, является актуальной. Предложены методы по развитию теории создания гибридных ЭТК с ДГУ и ВЭУ для автономного электроснабжения. Практическая реализация методических решений может найти применение в следующих областях: разработка технических решений схем распределительных устройств для автономного электроснабжения объектов, для обеспечения нужд малой распределенной генерации.

Указанные замечания не снижают научной ценности представленной диссертации в целом. Диссертация Емельянова Евгения Александровича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-исследовательской работой, выполненной самостоятельно на высоком научном уровне, в которой разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое достижение в развитии перспективного направления в области проектирования и разработки гибридных ЭТК с применением ВИЭ. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа выполнена лично, на актуальную тему, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость. Работа аккуратно оформлена. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа Емельянова Евгения Александровича «Гибридный электротехнический комплекс с дизель- и ветроэлектрической установками для автономного электроснабжения поселения», 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 области науки и техники, занимающейся исследованием автономного электроснабжения населенных пунктов и вносят вклад в развитие страны.

По тематике, примененным методам и полученным результатам работа соответствует пунктам 1 и 3 паспорта научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы. Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает основные научные результаты.

Диссертация «Гибридный электротехнический комплекс с дизель- и ветроэлектрической установками для автономного электроснабжения поселения», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, полностью отвечает 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 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Емельянов Евгений Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Отзыв составлен по результатам обсуждения диссертационной работы Емельянова Евгения Александровича на заседании кафедры «Электрическая техника» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» 31 августа 2026 года (протокол заседания № 1).

Отзыв составлен:

Доктор технических наук, доцент,

профессор кафедры

«Электрическая техника»



Татевосян Андрей Александрович

Исполняющий обязанности заведующего кафедрой

«Электрическая техника» Федерального государственного

автономного образовательного учреждения высшего образования

«Омский государственный технический университет»,

кандидат технических наук, доцент

доцент кафедры «Электрическая техника»



Лысенко Олег Александрович

Подпись кандидата технических наук, исполняющего обязанности заведующего

кафедрой «Электрическая техника» Лысенко О.А., профессора кафедры «Электрическая

техника» Татевосяна А.А. удостоверяю:

Ученый секретарь ученого совета



Немцова Анна Федоровна

« 1 »

05

2026 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет».

Адрес организации: 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11,

Рабочий телефон: +7 (3812) 65-34-07 (доб.2001)

Email: info@omgtu.ru, сайт: <http://omgtu.ru>

Сведения о лице, утвердившем отзыв ведущей организации на диссертацию:

Ложников Павел Сергеевич, проректор по научной и инновационной деятельности, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» доктор технических наук, профессор.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет»: 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11, рабочий телефон: +7 (3812) 65-37-43 (доб. 2009), Email: pslozhnikov@omgtu.ru, сайт: <http://omgtu.ru>.