

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и стратегическим проектам ФГАОУ ВО НИ ТПУ, к.ф.-м.н.

Гоголев Алексей Сергеевич

« 24 » 02 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на диссертацию Чулюковой Маргариты Валерьевны «Разработка принципов и метода автоматического управления нагрузкой активных потребителей для обеспечения надежности электроснабжения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

1. Актуальность темы диссертации

При проектировании электроэнергетических систем (ЭЭС) устанавливается определенный уровень надежности электроснабжения потребителей. Высокий износ оборудования генерирующих и сетевых компаний наряду с недостаточными объемами и темпами его модернизации и цифровизации, снижение их способности выполнять свои технологические функции обуславливает рост числа аварийных отключений, что негативно отражается на надежности электроснабжения потребителей. В условиях этих вызовов развитие распределенных энергетических ресурсов (РЭР) таких, как распределенная генерация (РГ), система накопления электрической энергии (СНЭЭ), интеллектуальные технологии в энергетике приводит к созданию новых интеллектуальных энергосистем (ИЭС) и открывает огромные возможности повышения эффективности и надежности их работы. Учитывая ограниченные финансовые, человеческие и временные ресурсы энергетических компаний, гибкий переход от традиционных ЭЭС к ИЭС представляет собой важную задачу для российских энергетиков. Одним из актуальных направлений решения этой задачи является повышение энергетической гибкости ЭЭС за счет их деления на энергорайоны (ЭР), которые могут работать как параллельно с ЭЭС, так и изолированно. Оптимизация работы РЭР на уровне ЭР позволяет поддерживать баланс спроса и предложения и управления ограничениями в сети, особенно в аварийных ситуациях. Таким образом, разработка новой автоматики гибкого управления нагрузкой на базе технологии управления спросом открывает новый вариант участия активных потребителей в решении вопросов послеаварийного управления режимом работы ЭР с РЭР и способствует обеспечению надежности электроснабжения.

Цель диссертационной работы: Разработка принципов и метода автоматического управления нагрузкой активных потребителей, предоставляющих собственную мощность, для обеспечения надежности электроснабжения при аварийном выделении энергорайонов с распределенными энергетическими ресурсами на изолированную работу.

2. Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа Чулюковой Маргариты Валерьевны соответствует паспорту научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика. Работа соответствует следующим направлениям исследований, указанным в паспорте специальности 2.4.3. Электроэнергетика:

- Разработка методов расчета и моделирования установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем и сетей, включая технико-экономическое обоснование технических решений, разработка методов управления режимами их работы (пункт 14);
- Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике (пункт 16);
- Разработка методов использования информационных и телекоммуникационных технологий и систем, искусственного интеллекта в электроэнергетике, включая проблемы разработки и применения информационно-измерительных, геоинформационных и управляющих систем для оперативного и ретроспективного мониторинга, анализа, прогнозирования и управления электропотреблением, режимами, надежностью, уровнем потерь энергии и качеством электроэнергии (пункт 20).

3. Структура и объем диссертации

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук. Общий объем работы составляет 174 страницы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 143 наименований и 5 приложений.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цели и задачи, отражены научная новизна, практическая значимость результатов, внедрение и апробация полученных результатов, сформулированы выносимые на защиту положения, дано краткое содержание работы.

В **первой главе** проведен обзор современного состояния проблемы и обоснована необходимость разработки новых методов обеспечения надежной работы ЭР с РЭР с номинальным напряжением 220 кВ и ниже в аварийных ситуациях. Поставлены задачи диссертационного исследования.

Во **второй главе** рассматриваются задачи разработки структуры, принципов, математической модели и алгоритма работы автоматики управления нагрузкой активных потребителей (АУНАП), разработки методических положений согласования действий существующих устройств противоаварийной автоматики (ПА) в комплексе противоаварийного управления (ПАУ) и предлагаемой новой АУНАП при аварийном выделении ЭР с РЭР на изолированную работу. На основе решения вышеуказанных задач разработан методический подход, включающий принципы, алгоритм и критерии оценки методического подхода к повышению гибкости в ЭР с РЭР.

В **третьей главе** проведено экспериментальное исследование предлагаемого метода послеаварийного управления нагрузкой активных потребителей и методического подхода повышения энергетической гибкости ЭР с РЭР на тестовых схемах различного назначения, модифицированных из действующих ЭР ЭЭС Дальнего Востока; проведена серия расчетов переходных процессов аварийного выделения ЭР с РЭР на изолированную работу с учетом особенностей сценариев данного процесса, рассмотренных в главе 2; проведен комплексный анализ полученных результатов и дана оценка эффективности работы АУНАП; рассмотрены перспективы внедрения АУНАП.

В **заключении** приведены основные выводы по результатам исследований.

4. Основные научные результаты диссертации

1. Разработана на основе технологии управления спросом новая автоматика управления нагрузкой активных потребителей (АУНАП), реализующая более интеллектуальные сценарии отключения нагрузки потребителей. Разработанная математическая модель решает задачу поиска и перебора вариантов дополнительной мощности для ее перераспределения между потребителями путем минимизации целевой функции с учетом приоритетности подключения ответственной нагрузки.

2. Разработан оригинальный инструмент с использованием библиотеки Pandapower программного пакета Python, реализующий алгоритмы работы новой автоматики АУНАП.

3. Предложены методические положения согласования действий существующих устройств ПА в комплексе ПАУ и предлагаемой новой автоматики АУНАП при аварийном выделении ЭР с РЭР на изолированную работу, которые на восстановительном этапе ликвидации аварийной ситуации исключают риск повторного нарушения устойчивости по напряжению и частоте при оперировании дополнительной мощностью и обеспечивают селективность работы АУНАП.

4. Разработан комплексный методический подход повышения энергетической гибкости ЭР с РЭР, позволяющий оптимизировать работу имеющихся в ЭР интеллектуальных энергетических технологий. Предложенный подход был применен в экспериментальной части диссертации при моделировании аварий, происшедших в действующих ЭЭС Амурской области и Приморского края при аварийном выделении на изолированную работу некоторых ЭР в данных регионах. Анализ результатов показал, что предложенный в подходе алгоритм позволил сформировать оптимальный набор источников гибкости и восстановить 66 % нагрузки в тестовой схеме Амурской области и 100 % нагрузки в тестовой схеме Приморского края ответственных потребителей и сократить время восстановления их электроснабжения с нескольких часов до нескольких секунд.

5. Эффективность разработанной новой автоматики АУНАП подтверждена расчетами различных сценариев аварийного выделения на изолированную работу ЭР с РЭР на тестовых схемах различного назначения, модифицированных на основе реальных ЭР ЭЭС Дальнего Востока, с использованием разработанного оригинального инструмента в среде Python, реализовывающий алгоритмы работы АУНАП.

6. Выполнен комплексный анализ результатов, полученных в экспериментальной части диссертации, на основе которого доказано, что АУНАП обеспечивает надежное электроснабжение потребителей в условиях аварийного дефицита мощности. Помимо оперативного автоматического восстановления ответственных потребителей, УВ действия АУНАП за счет автоматизированного перераспределения нагрузки сокращает время выхода на устойчивый режим, которое при ручном управлении длится дольше, что повышает риски повреждения оборудования.

5. Достоверность и научная новизна

Достоверность исследований: Научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертационной работе, обоснованы приведенными теоретическими положениями и результатами, полученными при проведении экспериментальных расчетов для реальной энергосистемы. Достоверность проведенных исследований обеспечивается корректным использованием основных положений теорий математического моделирования и автоматического управления, корректностью имитационных моделей, их адекватностью для исследуемых процессов, а также проверкой и сопоставлением теоретических положений и результатов, полученных в

экспериментальных исследованиях. Результаты находятся в соответствии с данными, полученными другими отечественными и зарубежными авторами.

Научная новизна:

1. Разработан метод автоматического управления нагрузкой активных потребителей для обеспечения надежности электроснабжения потребителей ЭР с РЭР в послеаварийных режимах. В отличие от существующих мировых практик использования технологии управления спросом, ориентированных на решение задач противоаварийного управления режимами работы ЭЭС, предложен новый вариант использования данной технологии для послеаварийного гарантированного восстановления электроснабжения потребителей и ликвидации дефицита мощности на уровне ЭР с РЭР путем использования дополнительной мощности активных потребителей.

2. Разработаны методические положения согласования действий существующих устройств ПА в комплексе ПАУ и предлагаемой новой дополнительной автоматики АУНАП, направленные на исключение риска повторного нарушения устойчивости по частоте и напряжению в послеаварийном установившемся режиме и сохранения селективности выполнения действий АУНАП

3. Разработан методический подход к повышению энергетической гибкости для обеспечения надежной работы ЭР с РЭР в аварийных ситуациях. В отличие от существующих мировых и отечественных практик решения проблем снижения гибкости ЭЭС и связанных с этим возникающих негативных последствий для потребителей, ориентированных на использование традиционных средств регулирования гибкости, предложен подход, который позволяет формировать мероприятия с оптимальным комплексным использованием всех существующих источников гибкости для гарантированного электроснабжения потребителей в аварийных ситуациях.

6. Практическая значимость

1. Результаты практических исследований диссертационной работы верифицированы на авариях, происшедших в реальных действующих ЭР Дальнего Востока, а именно Амурской области, Приморского края, Республики Саха (Якутия), и подтвердили актуальность применения предложенного в работе метода АУНАП в комплексе ПАУ и методического подхода к повышению энергетической гибкости для минимизации последствий для потребителей в аварийных ситуациях.

2. Метод АУНАП за счет автоматической реализации его алгоритмов без дополнительного отключения мощности позволяет ускорить процесс восстановления электроснабжения потребителей, перерыв в электроснабжении которых может привести к негативным социально-значимым последствиям, затрагивающим различные аспекты жизни.

3. Предложенные метод АУНАП и методический подход к повышению энергетической гибкости для обеспечения надежной работы ЭР с РЭР в аварийных ситуациях были использованы компанией АО «Фонд Форсайт» при разработке технической концепции управления нагрузками и режимами работы микросети Международного аэропорта г. Петропавловск-Камчатский, а также при формировании алгоритмов диспетчеризации объектов РГ в ЭР с РЭР сельскохозяйственного назначения тепличного комплекса Поволжье в Ленинградской области.

4. Разработанный программный инструмент в среде Python для реализации метода АУНАП может быть интегрирован в программные комплексы оперативно-технологических служб электросетевых компаний и использован в практических действиях оперативного персонала.

Результаты работы внедрены в производственные процессы АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания», АО «Фонд Форсайт» и РУП «Белэнергопроект» Республики Беларусь (Приложение А).

7. Замечания по работе

7.1. В практической части работы использован расчет только квазиустановившихся режимов работы ЭР с РЭР. Возможно ли использовать результаты работы для расчета динамической устойчивости и переходных процессов при планировании послеаварийных режимов работы ЭР с РЭР?

7.2. В главе 2 есть нечеткая логика отнесения АУНАП к автоматическому или автоматизированному способу управления нагрузкой, так как в тексте на странице 81 прописано, что «эксперту (дежурному диспетчеру) АУНАП предложил...».

7.3. Экономическая модель взаимодействия с активными потребителями остаётся недостаточно проработанной. Неясно, каким образом предлагаемые договорные отношения интегрируются в существующую структуру розничного рынка электроэнергии.

7.4. В главе 3 на странице 100 из описания тестовой схемы ЭР с РЭР сельскохозяйственного назначения (рисунок 3.3.) не ясно, на какое напряжение подключены источники РГ (на 6 кВ или 0,4 кВ).

7.5. В формуле 2.5 на странице 68 указаны свободная мощность СНЭЭ и свободная мощность нерегулируемых ГУ на базе ВИЭ. Возникает вопрос, который требует уточнения: что является источником накопления энергии в СНЭЭ и выдача мощности ГУ на базе ВИЭ прогнозируемая или нет?

7.6. В главе 3 тестовые схемы включают источники РГ различной мощности от 4 МВт до 80 МВт. Очевидно, что свойства микро- и мини- генерации отличаются от РГ малой мощности 5-25 МВт, а тем более от крупных источников большой мощности. Из полученных результатов практических исследований не ясно, как учитывались эти отличия и какое влияние они могут оказать на работу АУНАП.

7.7. В главе 3 при оперировании дополнительной мощностью и включением нагрузок недостаточно учитывается влияние разницы их мощностей, которая обусловлена как изменением статического режима, так и переходными процессами.

8. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»

По п.9. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой автором впервые предложены: новая автоматика АУНАП, основанная на технологии управления спросом; методические положения согласования действий существующих устройств ПА в комплексе ПАУ и предлагаемой новой АУНАП; методический подход к повышению энергетической гибкости для обеспечения надежной работы ЭР с РЭР в аварийных ситуациях.

По п.10. Диссертация написана автором самостоятельно в виде рукописи, содержит новые научные результаты и положения, заслуживающие публичной защиты. Содержание диссертации и опубликованные работы свидетельствуют о достаточном вкладе автора в науку. В диссертации имеются сведения о практической полезности выполненных исследований, подтвержденные актами внедрения.

По п.11-13. Основные научные результаты достаточно полно отражены в 13 публикациях, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

По п.14. Диссертация соответствует указанным критериям.

9. Общее заключение о соответствии выполненной работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

Диссертация Чулюковой Маргариты Валерьевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение актуальной задачи разработки средства оптимального использования РЭР при решении задач повышения энергетической гибкости для обеспечения надежности.

Содержание диссертации отражает основные идеи работы и полученные в ней результаты, а также раскрывает ее научную и практическую ценность. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Диссертация Чулюковой Маргариты Валерьевны «Разработка принципов и метода автоматического управления нагрузкой активных потребителей для обеспечения надежности» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, изложенным в п.п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (ред. от 16.10.2024).

Автор диссертации, Чулюкова Маргарита Валерьевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании электроэнергетической секции научно-технического совета Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО НИ ТПУ, протокол №1 от 19.02.2026 г.

Председатель ЭЭС НТС ИШЭ ФГАОУ
ВО НИ ТПУ, профессор Отделения
электроэнергетики и электротехники
Инженерной школы энергетики ФГАОУ
ВО НИ ТПУ, д.т.н., профессор

Василий Яковлевич Ушаков

Секретарь ЭЭС НТС ИШЭ ФГАОУ ВО
НИ ТПУ, инженер Организационного
отдела Инженерной школы энергетики
ФГАОУ ВО НИ ТПУ

Петр Андреевич Гнездилов

Удостоверяю, что подписи представлены работниками ФГАОУ ВО НИ ТПУ В.Я. Ушаковым и П.А. Гнездиловым.

Ученый секретарь ФГАОУ ВО НИ ТПУ

В.Д. Новикова

Полное и сокращенное
наименование организации

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Национальный
исследовательский Томский политехнический
университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ)

Место нахождения

634050, Томская область, г. Томск, пр. Ленина,
д. 30

Телефон

+7 (3822) 60-63-33, +7 (3822) 60-64-44

Адрес электронной почты

tpu@tpu.ru

Адрес сайта организации

http://tpu.ru