

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.118.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ СИСТЕМ  
ЭНЕРГЕТИКИ ИМ. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 03.03.2026 № 7

О присуждении **Косьминой Евгении Владимировне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Интеллектуальное управление устройствами FACTS для повышения гибкости распределительных электрических сетей с высокой долей ветроэнергетических установок»** по специальности 2.4.3. Электроэнергетика принята к защите 11.12.2025 г. (протокол заседания № 9) диссертационным советом 24.1.118.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, создан приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №78/нк от 26.01.2023.

Соискатель **Косьмина Евгения Владимировна (до замужества Уколова)**, «05» ноября 1993 года рождения, в 2017 г. с отличием окончила Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность образовательной программы: энергоэффективность, энергоаудит и управление энергохозяйством, (магистратура). В 2024 году соискатель окончила очную аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук по направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника», по образовательной программе «Электрические станции и электроэнергетические системы» (по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика в соответствии с Номенклатурой научных специальностей, утвержденной приказом Минобрнауки России от 24.08.2021 г. №786).

В настоящее время не работает.

Диссертация выполнена в отделе электроэнергетических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – Томин Никита Викторович, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, отдел электроэнергетических систем, старший научный сотрудник.

**Официальные оппоненты:**

**Паздерин Андрей Владимирович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Автоматизированные электрические системы», заведующий кафедрой;

**Уфа Руслан Александрович**, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Инженерная школа энергетики, отделение электроэнергетики и электротехники, доцент,

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, в своем положительном отзыве, подписанном Тихомировым Владимиром Александровичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Электроэнергетика транспорта» и утвержденном Димовым Алексеем Владимировичем, кандидатом технических наук, и.о. проректора по научной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», указала, что диссертационная работа полностью отвечает всем требованиям и критериям п.9-14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым ВАК Минобрнауки России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертации Косьмина Евгения Владимировна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по научной специальности

### 2.4.3. Электроэнергетика.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ по теме диссертации, из них 3 публикации уровня К1, К2 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.4.3, и 1 публикация в издании, индексируемом в международных базах цитирования Scopus и Web of Science Core Collection, 11 статей в иных изданиях. Получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Заимствования, не отмеченные ссылками, отсутствуют.

Наиболее значимые работы:

1. Воронцов Д.В. Виртуальные станции для электроснабжения аварийных задвижек магистральных нефтепроводов / Д.В. Воронцов, **Е.В. Уколова**, И.Н. Шушпанов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 9 (116). – С. 86-94.
2. **Уколова Е.В.** Развитие метода backward/forward для исследования гибкости систем электроснабжения / **Е.В. Уколова**, Н.И. Воропай // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. – № 2 – С. 24-35.
3. **Косьмина Е.В.** Анализ причин снижения гибкости электроэнергетических систем и мероприятий по ее повышению / **Е.В. Косьмина**, Н.И. Воропай // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – 2020. – С. 407- 416.
4. **Kosmina E.V.** FACTS Devices to Ensure Operational Reliability of Modern Power Systems / **E.V. Kosmina**, N.V. Tomin // Energy Systems Research. – 2024. – Vol. 7. – № 3 – Pp.53-63.
5. **Kosmina E.** Analysis of electricity supply systems flexibility and problems to be investigated / **E. Kosmina**, N. Voropai // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020. – Vol. 216. – P. 01027.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От **Воронова Павла Леонидовича**, кандидата технических наук, главного специалиста департамента технического маркетинга систем релейной защиты и автоматизации энергосистем Общества с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ЭКРА». Отзыв содержит два замечания: **1)** Не ясно, каким образом предполагается практическая реализация результатов работы в части применения предложенных методик и алгоритмов. **2)** В списке публикаций автора диссертации указаны свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, но не понятно, как именно они применяются: в проектных расчетах,

в качестве алгоритмов для комплексных систем управления режимами в реальном времени или системах управления FACTS (алгоритм реализованный на микроконтроллере).

2. От **Сигитова Олега Юрьевича**, кандидата технических наук, руководителя направления отдела нормативно-технического регулирования Акционерного общества «Росатом Возобновляемая энергия». Отзыв содержит два замечания: **1)** В работе представлено сравнение методов RL (DDPG, PPO, SAC, A2C) для задачи стабилизации обратного маятника, однако хотелось бы видеть более подробный анализ их применимости именно к управлению FACTS в реальных сетях с учетом коммуникационных задержек и ограничений аппаратной реализации. **2)** Возможно, стоило бы добавить раздел, посвященный экономической эффективности внедрения предлагаемых решений, хотя это не являлось основной целью исследования.

3. От **Клюева Романа Владимировича**, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», профессора кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)». Отзыв содержит три замечания: **1)** В таблицах и результатах моделирования (табл. 2, 4, 5, 7) проводится сравнение с традиционными методами (РПН, КБ) и другими алгоритмами RL. Однако не представлено сравнение предложенного интеллектуального САУ с современными промышленными системами управления FACTS (например, на основе модельно-прогнозирующего управления), что важно для оценки реальной конкурентоспособности разработки. **2)** Исследование сфокусировано на ветрогенерации. Возникает вопрос об универсальности предложенных методов для сетей с иными типами стохастической генерации (солнечная, приливная) и их комбинациями. Необходимо кратко обозначить границы применимости и потенциал расширения. **3)** В положении о синтезе САУ на основе PPO не в полной мере раскрыто, в чем заключается конкретное авторское усовершенствование данного известного алгоритма машинного обучения применительно к задаче управления FACTS. Требуется более четкая артикуляция авторского вклада в адаптацию PPO для электроэнергетических систем.

4. От **Куликова Александра Леонидовича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» Образовательно-научного института электроэнергетики Федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», **Севостьянова Александра Александровича**, кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» Образовательно-научного института электроэнергетики, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева». Отзыв содержит два замечания: 1) Целесообразно было бы привести схемные решения систем автоматического управления энергорайонами с высокой долей ветроэнергетических установок на основе разработанных алгоритмов. 2) Судя по выражению (4) автореферата, величина  $F_{idx}$  не является безразмерной, что не соответствует утверждению автора.

5. От **Варгановой Александры Владимировны**, кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой электроснабжения промышленных предприятий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», **Малафеева Алексея Вячеславовича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры электроснабжения промышленных предприятий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Отзыв содержит два замечания: 1) Не рассмотрены вопросы взаимодействия предложенной системы управления с существующими иерархическими структурами диспетчерского управления. 2) В работе не приведена оценка требований к вычислительным ресурсам при внедрении алгоритмов обучения с подкреплением в реальных системах управления.

6. От **Булатова Юрия Николаевича**, кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой энергетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Братский государственный университет». Отзыв содержит два замечания: 1) В работе не рассматриваются системы накопления электроэнергии, работающие совместно с ветроэнергетической установкой, которые должны сгладить нестабильную выработку электроэнергии от ВЭУ. 2) В заключении сказано, что предложенные самообучающиеся системы автоматического управления способствуют минимизации потерь мощности, улучшению качества электроэнергии и повышению устойчивости сети в условиях стохастической генерации. Требуется уточнение, на какие показатели качества электроэнергии оказывает влияние предложенная система управления

рассматриваемыми устройствами FACTS.

Замечания не снижают научной ценности и практической значимости диссертационной работы. На замечания оппонентов и ведущей организации, а также на замечания в отзывах, поступивших на автореферат и диссертацию, соискатель привела исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается сферой их научных интересов и исследований в области повышения гибкости и надежности распределительных электрических сетей, что подтверждается научными публикациями официальных оппонентов и сотрудников ведущей организации и их высокой квалификацией.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработаны** имитационные модели для описания режимов работы распределительных электрических сетей с учетом ветроэнергетических установок (ВЭУ) и устройств гибкой системы передачи переменного тока (англ. Flexible Alternating Current Transmission System, FACTS). В моделях учтены стохастичность выработки ВЭУ, параметры загрузки электрической сети, особенности работы регулирующих устройств и влияние интеллектуальных систем управления на устойчивость и надежность сети; алгоритмы самообучающейся системы автоматического управления (САУ) для устройств FACTS на основе метода обучения с подкреплением. Реализация разработанного метода выполнена в виде программного обеспечения в среде Python;

– **предложены** концептуальные подходы к повышению гибкости распределительных сетей с ВЭУ, включающие методы адаптивного регулирования параметров сети, направленные на снижение потерь мощности, увеличение интеграционной способности ВИЭ и обеспечение надежного электроснабжения потребителей. Проведена оценка основных средств повышения гибкости;

– **доказана** эффективность предложенной САУ для устройств FACTS в задаче повышения режимной надежности и гибкости электрических сетей;

– **введена** количественная оценка гибкости по напряжению, позволяющая оценить способность электрической сети поддерживать напряжение в допустимых пределах при наличии флуктуаций генерации и потребления, обусловленных интеграцией распределенных энергоресурсов (в частности ВИЭ).

**Теоретическая значимость** исследований обоснована тем, что:

– **доказана** эффективность применения самообучающихся САУ для устройств FACTS на основе метода проксимальной оптимизации стратегий

(PPO) в задаче адаптивного регулирования напряжения распределительных сетей с высокой долей ВЭУ;

– **применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** методы машинного обучения с подкреплением, теория электрических цепей, методы оптимизации и имитационного моделирования, реализованные в среде Python, что позволило синтезировать интеллектуальные алгоритмы управления, адаптивные к стохастическому характеру генерации ВИЭ;

– **изложены** основные принципы и этапы синтеза самообучающихся САУ для устройств FACTS, базирующиеся на формализации задачи управления как марковского процесса принятия решений и использовании алгоритма PPO для поиска оптимальной стратегии управления напряжением в режиме реального времени;

– **раскрыты** недостатки существующих систем автоматического управления FACTS ввиду их низкой адаптивности, замедленного отклика, сложности настройки параметров;

– **изучены** факторы, влияющие на снижение гибкости электроэнергетических систем при интеграции ВЭУ, и проведен сравнительный анализ существующих систем управления распределительными сетями и устройствами FACTS, выявивший их недостаточную адаптивность в условиях стохастической генерации;

– **проведена модернизация** алгоритма метода прямого-обратного хода, заключающаяся в адаптации к слабозамкнутым топологиям (на основе метода компенсационных токов), учете статических характеристик нагрузки по напряжению и возможности интеграции моделей управляющих устройств (FACTS, систем накопления электроэнергии и т.п.) в итерационный процесс расчета потокораспределения.

**Значение** полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– **разработаны и внедрены:** результаты модифицированного алгоритма расчета режимов и интеллектуальной САУ для устройств FACTS внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» и в производственную деятельность ООО «Смарт Грид»;

– **определены** перспективы и области практического применения устройств FACTS с предложенными самообучающимися САУ для повышения гибкости и режимной надежности распределительных сетей среднего напряжения, особенно в условиях высокой неопределенности генерации от ВЭУ;

– **создана** методика количественной оценки гибкости по напряжению, базирующаяся на комплексе взаимосвязанных показателей (индекс гибкости, среднее и максимальное отклонения напряжения), позволяющая объективно сравнивать различные стратегии управления и обосновывать выбор параметров регулирующих устройств;

– **представлены** научно-обоснованные рекомендации и инструментарий (комплекс имитационных моделей и алгоритмов), позволяющие энергокомпаниям и проектным организациям проводить анализ и повышать эффективность режимов работы распределительных сетей с высокой долей ВЭУ.

**Оценка достоверности результатов исследований выявила:**

– **для экспериментальных работ результаты получены с использованием** верифицируемых и апробированных подходов к моделированию, а также программных сред (Python). Адекватность разработанных моделей подтверждена путем экспериментальной верификации на релевантных тестовых схемах распределительных электрических сетей;

– **теория** построена на проверяемых данных и фундаментальных классических законах электротехники, а также на корректном применении основных положений теории автоматического управления, динамических систем, оптимизации, математического моделирования и машинного обучения;

– **идея базируется** на обобщении и критическом анализе современного мирового опыта и научных публикаций в области управления режимами электрических сетей с ВЭУ и применения устройств FACTS;

– **использованы** современные методы сбора и обработки исходной информации, включая моделирование случайных состояний сети, обусловленных стохастичностью генерации ВЭУ и колебаниями нагрузки;

**установлено** качественное и количественное соответствие теоретических положений результатам имитационного моделирования; отдельные результаты согласуются с данными, полученными другими исследователями в данной области;

– **использованы** современные методы машинного обучения (обучение с подкреплением, PPO), оптимизации и расчета установившихся режимов, а также представительный объем вычислительных экспериментов, обеспечивающий надежность и воспроизводимость полученных выводов.

**Личный вклад соискателя** состоит в исследовании и разработке новых интеллектуальных моделей управления устройствами FACTS для повышения гибкости и эффективности распределительных электрических сетей с высокой

долей ВЭУ. Лично автором выполнен анализ существующих систем управления, включая их ограниченные возможности в условиях интеграции ВЭУ и предложены усовершенствованные математические модели, описывающие работу сетей с учетом динамики ВЭУ и возможностей устройств FACTS. Автор самостоятельно провел экспериментальную верификацию предложенных методов на модельных схемах, результаты которой подтвердили повышение гибкости и эффективности управления режимами распределительных электрических сетей.

**В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:**

1. Возможно ли применить предложенный принцип интеллектуального управления устройствами FACTS для различных типов распределённой генерации?

2. Вы сами представили вот эти схемы или это практические схемы? У вас рассмотрены технические проблемы. А что касается экономических проблем, какие-то существуют?

3. В качестве показателя вы рассматривали только отклонение напряжения?

**Соискатель Косьмина Е.В. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:**

1. Предложенный принцип системы автоматического управления применим к различным источникам распределенной генерации. Устройства ветроэнергетической установки были рассмотрены в данной диссертационной работе, так как они имеют высокий уровень стохастичности, которая наглядно отражена на графике. Принцип может рассматриваться для любых источников возобновляемой генерации.

2. Применялись тестовые схемы распределительных сетей СИГРЭ, которые отражают реально все особенности распределительных электрических сетей. Экономические проблемы важны, так как устройства FACTS – это дорогостоящее оборудование, и необходимо в будущем учитывать этот экономический фактор, но в данной диссертационной работе это не учитывалось и не рассматривалось. Это является перспективным направлением.

3. Рассматривалось только отклонение напряжения, потому что это наиболее чувствительный параметр к изменяющимся режимным условиям электрической сети. При существенной стохастичности режима этот показатель уровня напряжения является наглядным.

На заседании 03.03.2026 года диссертационный совет принял решение: за решение актуальной научно-технической задачи по разработке

интеллектуальной системы автоматического управления устройствами FACTS на основе методов обучения с подкреплением (алгоритм РРО), позволяющей повысить гибкость и режимную надежность распределительных электрических сетей среднего напряжения в условиях высокой доли ВЭУ и стохастического характера их генерации, имеющей существенное значение для развития электроэнергетики Российской Федерации в части цифровизации и адаптации сетей к интеграции ВЭУ, присудить Косьминой Евгении Владимировне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – 2.

Председатель заседания,  
заместитель председателя  
диссертационного совета



Стенников Валерий Алексеевич

И.о. ученого секретаря  
диссертационного совета

Массель Людмила Васильевна

03.03.2026