

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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.03.2026 № 8

О присуждении Томину Никите Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация **«Методологические основы синтеза автономных систем управления режимами активных распределительных сетей с применением машинного обучения»** по специальности 2.4.3. Электроэнергетика принята к защите 11 декабря 2025 года (протокол заседания № 10) 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, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, совет создан приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 78/нк от 26.01.2023.

Соискатель **Томин Никита Викторович**, 18 декабря 1982 года рождения. В 2005 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Братский государственный университет» по программе специалитета по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетические системы и сети. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Анализ и прогнозирование режимных параметров и характеристик для субъектов розничного рынка электроэнергии на базе технологий искусственного интеллекта» (специальность 05.14.02 Электрические станции и системы) защитил в 2007 году в диссертационном совете Д 003.017.01, созданном 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.

В настоящее время Томин Никита Викторович работает в должности старшего научного сотрудника в отделе электроэнергетических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики имени Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

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 консультант – Сидоров Денис Николаевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики имени Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Савина Наталья Викторовна, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Амурский государственный университет», Энергетический факультет, кафедра энергетики, заведующий кафедрой.

Соснина Елена Николаевна, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Образовательно-научный институт электроэнергетики, кафедра «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», профессор.

Фишов Александр Георгиевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра Автоматизированных электроэнергетических систем, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск). В положительном отзыве, подписанном Пантелеевым Василием Ивановичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой электроэнергетики, и утвержденном проректором по учебной работе Гуц Денисом Сергеевичем, указано, что диссертационная работа Н.В. Томина является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена проблема создания методологических основ построения интеллектуальной автономной системы управления цифровыми районами электрических сетей, имеющей важное значение для развития методов использования информационных и телекоммуникационных технологий и систем, искусственного интеллекта в электроэнергетике.

По теме диссертации опубликованы 49 работ, 9 из которых — в журналах (K1, K2), рекомендованных ВАК по специальности 2.4.3. Электроэнергетика, 4 статьи в изданиях (K1, K2), рекомендованных ВАК по другим специальностям, 15 — в периодических научных журналах (Q1, Q2), индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени отражены в опубликованных работах. Число и качество публикаций соответствуют

требованиям, предъявляемым к соискателям ученой степени доктора наук. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Текст диссертации не содержит некорректных заимствований.

Перечень основных работ:

1. **Томин, Н.В.** Анализ подходов к объединению микросетей в энергетические сообщества / Н. В. Томин, Е. В. Попова // *iPolytech Journal*. — 2024. — Т. 28, № 2. — С. 330—345. (К1 из перечня ВАК)
2. Гурина, Л. А. Обеспечение информационной безопасности при вторичном регулировании напряжения в мультиагентных системах управления киберфизическими микросетями / Л. А. Гурина, **Н. В. Томин** // *Электричество*. — 2024. — Т. 10. — С. 34—45. (К1 из перечня ВАК)
3. Гурина, Л. А. Интеллектуальные методы обеспечения кибербезопасности мультиагентных систем управления микросетями / Л. А. Гурина, **Н. В. Томин** // *Вопросы кибербезопасности*. — 2024. — Т. 6, № 64. — С. 53—64. (К1 из перечня ВАК)
4. **Томин, Н.В.** Энергетические сообщества с возобновляемыми источниками энергии: эффективное планирование и управление в условиях многокритериальности. Часть 1 / Н. В. Томин [и др.] // *Электроэнергия. Передача и распределение*. — 2023. — Т. 3, № 78. — С. 18—27. (К2 из перечня ВАК)
5. **Томин, Н.В.** Энергетические сообщества с возобновляемыми источниками энергии: эффективное планирование и управление в условиях многокритериальности. Часть 2 / Н. В. Томин [и др.] // *Электроэнергия. Передача и распределение*. — 2023. — Т. 79, № 4. — С. 18—30. (К2 из перечня ВАК)
6. Rakhmanov, N.R. Impact of Integrated Renewable Energy Sources with Variable Power Output in Terms of Constrained Voltage Stability Limit / N. R. Rakhmanov, N. Quliyev, **N.V. Tomin**, et al. // *Energy Systems Research*. — 2023. — Т. 6, № 4. — С. 34—43. (К2 из перечня ВАК)
7. **Томин, Н.В.** Обзор методов моделирования и управления киберфизическими системами в мультиэнергетических микросетях / Н. В. Томин [и др.] // *iPolytech Journal*. — 2023. — Т. 27, № 4. — С. 773—789. (К1 из перечня ВАК)
8. Воропай, Н.И. Разработка инновационных технологий и средств для оценки и повышения гибкости современных энергосистем / Н. И. Воропай, Г. Ретанц, У. Хэгер, **Н.В. Томин** [и др.] // *Электроэнергия. Передача и распределение*. — 2021. — Т. 1, № 64. — С. 52—63. (К2 из перечня ВАК)
9. Воропай, Н.И. Совершенствование системы мониторинга и управления электрическими сетями мегаполисов / Н.И. Воропай, В.Г. Курбацкий, **Н.В. Томин** [и др.] // *Энергетик*. — 2016. — Т. 2016, № 8. — С. 3—9. (К2 из перечня ВАК)
10. Гамм, А.З. Методы прогнозирования параметров режима

- электроэнергетических систем для целей мониторинга и управления / А.З. Гамм, **Н.В. Томин**, [и др.] // *Электричество*. — 2011. — № 5. — С.17–26. (К1 из перечня ВАК)
11. Гурина, Л. А. Разработка комплексного подхода к обеспечению кибербезопасности взаимосвязанных информационных систем при интеллектуальном управлении / Л.А. Гурина, **Н.В. Томин** // *Вопросы кибербезопасности*. — 2023. — Т. 4, № 56. — С. 88—97. (К1 из перечня ВАК)
 12. **Томин, Н.В.** Концепция построения интеллектуальной системы «Искусственный диспетчер» для автоматической системы управления электрическими сетями на базе глубокого обучения с подкреплением / Н. В. Томин // *Известия РАН. Теория и системы управления*. — 2020. — № 6. — С. 132—151. (К1 из перечня ВАК)
 13. Yu, J. Robust State Estimation for an Electricity-Gas-Heat Integrated Energy System Considering Dynamic Characteristics / J. Yu, D. Yang, J. Cao, P. Dehghanian, **N. Tomin** // *Protection and Control of Modern Power Systems*. — 2024. — Т. 9, № 1. — Pp. 65—80 (Q1 SJR).
 14. **Tomin, N.** Robust Reinforcement Learning-Based Multiple Inputs and Multiple Outputs Controller for Wind Turbines / N. Tomin // *Mathematics*. — 2023. — Т. 11, № 14. — Pp. 1—19. (Q1 SJR)
 15. **Tomin, N.** A multi-criteria approach to designing and managing a renewable energy community / N. Tomin, et al. // *Renewable Energy*. — 2022. — Т. 199. — Pp. 1153—1175. (Q1 SJR)
 16. **Tomin, N.** Design and optimal energy management of community microgrids with flexible renewable energy sources / N. Tomin, et al. // *Renewable Energy*. — 2022. — Т. 183. — Pp. 903—921. (Q1 SJR)
 17. Li, L. Optimal Scheduling of Regional Integrated Energy System Considering the Integration of Electric Vehicles and the Life Cycle Assessment Method / L. Li, D. Yang, Z. Liu, X. Ji, **N. Tomin** // *IEEE Transactions on Industry Applications*. — 2023. — Pp. 1—10. (Q1 SJR)
 18. Cao, J. Two-stage optimization of a virtual power plant incorporating with demand response and energy complementation / J. Cao, Y. Zheng, X. Han, D. Yang, J. Yu, **N. Tomin**, P. Dehghanian // *Energy Reports*. — 2022. — Т. 8. — Pp. 7374—7385. (Q1 SJR)
 19. **Tomin, N.V.** Management of Voltage Flexibility from Inverter-Based Distributed Generation Using Multi-Agent Reinforcement Learning / N. Tomin, et al. // *Energies*. — 2021. — Т. 14, № 24. — Pp. 8270. (Q1 SJR)
 20. Kozlov, A.N. Optimal operation control of PV-biomass gasifier-diesel hybrid systems using reinforcement learning techniques / A. N. Kozlov, **N.V. Tomin**, et al. // *Energies*. — 2020. — Т. 13, № 10. — Pp. 785. (Q1 SJR)
 21. Sidorov, D. A Dynamic Analysis of Energy Storage with Renewable and Diesel Generation Using Volterra Equations / D. Sidorov, I. Muftahov, **N. Tomin**, et al. // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. — 2020. — Т. 16, № 5. — Pp.

3451—3459. (Q1 SJR)

22. Sidorov, D. Toward zero-emission hybrid AC/DC power systems with renewable energy sources and storages: A case study from Lake Baikal region / D. Sidorov, D. Panasetsky, **N. Tomin**, et al. // *Energies*. — 2020. — Т. 13, № 5. — Pp. 12 – 26. (Q1 SJR)
23. **Tomin, N.** Hybrid intelligent technique for voltage/var control in power systems / N. Tomin, V. Kurbatsky, I. Reutsky // *IET Generation, Transmission and Distribution*. — 2019. — Т. 13, № 20. — Pp. 4724—4732. (Q1 SJR)

На диссертацию и автореферат поступили 10 отзывов (все отзывы положительные, 9 отзывов с замечаниями):

1) Отзыв **Сулова Константина Витальевича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»; содержит три замечания: **1.** В работе предложена концепция делегированной автономии, при которой интеллектуальная система берет на себя до 90% оперативных решений. Каковы критерии и механизмы определения той части решений (10%), которые всё-таки продолжают оставаться за оператором-диспетчером? Как обеспечивается баланс между автономностью системы и человеческим контролем в критических ситуациях? **2.** В автореферате заявлен подход к построению цифрового двойника с комбинированным обучением на данных физической сети и виртуальной модели с многоуровневой достоверизацией данных. Вместе с тем для практического внедрения важно понимать, каковы требования к измерительной инфраструктуре в сетях 35–0,4 кВ (минимальный состав телеметрии, частота и задержки, необходимость оценки состояния), и насколько устойчиво предложенное решение к типичным для энергорайонов проблем: неполноте наблюдаемости, ошибкам измерений, пропускам данных и изменению топологии. **3.** В практических разработках, например ПАО «Россети», ПАО «Русгидро», для изолированных энергорайонов и микроэнергетических систем сегодня широко представлены различные варианты систем автоматического управления для инверторов, малой синхронной генерации, ВИЭ и т.п., реализованные как на базе АСУ ТП, так и отдельных локальных контроллеров. Эти решения уже продемонстрировали свою эффективность в обеспечении регулирования частоты, демпфирования субсинхронных колебаний, компенсации дисбаланса мощности и улучшения качества электроэнергии. Из автореферата не вполне ясно, какие принципиальные преимущества могут дать предложенные самообучающиеся САУ для тех же изолированных энергорайонов по сравнению с существующими решениями на базе классических контуров управления. Требуется ли внедрение самообучающихся систем полной замены уже созданных и работающих контроллеров, или они могут интегрироваться, например, с существующей инфраструктурой АСУ ТП в качестве надстройки верхнего уровня

управления?

2) Отзыв **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)"; содержит четыре замечания: **1.** В автореферате практически не рассматриваются ограничения и риски, связанные с внедрением автономных систем на основе ИИ в реальные энергосети (например, кибербезопасность, «черный ящик» моделей RL, необходимость больших объемов данных для обучения). **2.** Хотя предложена трехуровневая архитектура ИАСУ, неясно, как именно она будет интегрирована с действующими АСУ, SCADA, EMS/DMS. **3.** Приведенные численные показатели (например, снижение LCOE на 20–60%, улучшение SAIDI на 25–50%) даны без указания доверительных интервалов, статистической значимости или условий проведения экспериментов. **4.** В работе рассматривается использование методов обучения с подкреплением, но отсутствует глубокая проработка выбора конкретных алгоритмов (TRPO, MCTS, MAPPO) для различных задач. Недостаточно обосновано, почему выбраны именно эти методы, как они адаптированы к специфике энергетических систем и как обеспечивается их устойчивость и сходимость.

3) Отзыв **Куликова Александра Леонидовича**, доктора технических наук, 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"; содержит три замечания: **1.** В работе предложена перспективная концепция системы «Автономный диспетчер», однако требует уточнения её конкретное место и функциональная роль в иерархии управления активной распределительной сетью, особенно для изолированных или слабосвязанных энергорайонов, где развертывание полноценной оперативно-диспетчерской службы экономически нецелесообразно. Необходимо более отчётливо показать, может ли система выступать не только в качестве централизованной координирующей автоматики верхнего уровня, но и как полноценная замена «живому» диспетчеру в таких условиях, беря на себя весь комплекс функций ситуационного управления. В частности, требует прояснения её роль в оптимизации послеаварийного восстановления путём перебора допустимых конфигураций сети для перевода её на оптимальный режим. Одновременно важно детализировать, как в архитектуре обеспечивается согласование автономных решений с действующими контурами локальной автоматики и эксплуатационными регламентами, а также какие конкретные классы управляющих воздействий предполагается полностью делегировать системе в нормальных и аварийных

режимах для реализации заявленного свойства функционального резервирования в условиях отсутствия постоянного операторского контроля. **2.** Известно, что в распределительных сетях 6–35 кВ ключевыми остаются ограничения по уровню напряжения, токовым нагрузкам элементов сети, ресурсу коммутационной аппаратуры, а также требования к качеству электроэнергии. В связи с этим представляется целесообразным уточнить, каким образом в постановках задач управления на основе обучения с подкреплением формализованы технологические ограничения (напряжение, токи, ограничения на регулирующие устройства, и т.п.) и как обеспечивается их соблюдение в ходе обучения и эксплуатации. **3.** В работе декларируется высокая робастность самообучающихся САУ к кибератакам. Каковы конкретные механизмы обеспечения киберустойчивости предложенных решений? Проводились ли исследования устойчивости системы к так называемым «adversarial attacks», направленным на манипулирование входными данными для алгоритмов машинного обучения?

4) Отзыв **Лукьяненко Дмитрия Витальевича**, доктора физико-математических наук, доцента кафедры математики отделения прикладной математики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова"; не содержит замечаний.

5) Отзыв **Варганова Александра Владимировна**, кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой электроснабжения промышленных предприятий; **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"; содержит пять замечаний: **1.** Актуальность работы на стр. 3–4 автореферата сводится, по большому счёту, к глобальным тенденциям (цифровая трансформация и т.д.), которые некритически принимаются как данность; и лишь в характеристике первой главы (стр. 12) очень сжато приводится более корректная объективная картина. **2.** На стр. 23 сформулированы достаточно объёмные требования к цифровизации распределительных сетей, однако ничего не говорится о требуемой величине затрат и источниках их покрытия; при масштабном внедрении это может привести к росту как нерегулируемых, так и регулируемых цен на электроэнергию на розничных рынках. **3.** На стр. 34 говорится о Парето-оптимальном распределении доходов между участниками энергетического сообщества, однако перед этим вводится синтетическая целевая функция (12), сводящая задачу к однокритериальной; не понятно, какие же критерии будут входить в множество Парето, применяемое в многокритериальной оптимизации. **4.** Не понятно, на кого будет возлагаться ответственность при ошибочных или некорректных решениях, принятых автономной САУ, с кем должен взаимодействовать абонент сетевой организации в таких случаях. **5.** Не ясно, каким образом должны решаться вопросы взаимодействия с вышестоящими звеньями

диспетчерско-технологического управления.

6) Отзыв **Илюшина Павла Владимировича**, доктора технических наук, главного научного сотрудника, руководителя Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки "Институт энергетических исследований Российской академии наук"; содержит три замечания: **1.** В автореферате представлен мультиагентный подход к вторичному регулированию напряжения в энергорайоне с источниками распределенной инверторной генерации. В современных инверторах реализована функция инъекции реактивного тока в первые 0–200 мс короткого замыкания для предотвращения отключений инверторов функцией LVRT при провалах напряжения. Разработанные соискателем адаптивные контроллеры, работающие в секундном диапазоне, не замещают мгновенную инъекцию реактивного тока для поддержания остаточного напряжения на выходах инверторов. Следует пояснить, как предложенная архитектура управления напряжением взаимодействует с функцией инъекции реактивного тока и параметрами настройки функции LVRT, а также, как обеспечивается устойчивость в первые сотни миллисекунд послеаварийного режима, когда инъекция реактивного тока уже отработала, а классическое Q-U-регулирование еще не активировано. **2.** Разработанная автором система «Автономный диспетчер» реализует на верхнем уровне экономические функции управления энергорайоном (рыночные операции, координация мульти-микросетей или энергетических сообществ), а на среднем уровне – задачи группового управления (диспетчеризацию генерации, вторичное регулирование, управление спросом, прогнозирование). Однако для завершенности архитектуры интеллектуальной системы управления верхнего уровня требуется пояснить ее роль в реализации других алгоритмов: перехода от режима параллельной работы к островному и обратно, секционирования сети и ресинхронизации. Из автореферата неясно, содержит ли архитектура «Автономного диспетчера» модуль, реализующий перечисленные функции, или они делегированы контроллерам среднего и/или нижнего уровня. Без реализации этих функций предложенный «Автономный диспетчер» не является полноценной системой управления верхнего уровня, а представляет собой лишь ограниченный координационно-оптимизационный контур. **3.** В автореферате указано, что применение разработанной системы управления в реальных изолированных микросетях позволило добиться снижения показателя LCOE на 20–60% за счет синергетического эффекта энергетического сообщества. Однако методология расчета и вклад предложенной системы управления требуют уточнения, так как LCOE является комплексным показателем, включающим капитальные и операционные затраты. Необходимо пояснить, какой конкретный вклад в снижение LCOE вносят алгоритмы «Автономного диспетчера» (оптимизация режимов, динамическое тарифообразование), а какой связан с самой агрегацией генерирующих мощностей, независимо от системы управления. Каким образом в расчетах LCOE были учтены инвестиционные затраты на генерирующее

оборудование и на внедрение системы управления (блокчейн-платформа, цифровые двойники, контроллеры), чтобы оценить чистый эффект от реализации интеллектуального управления. Без этих уточнений заявленная экономическая эффективность может быть интерпретирована как переоцененная.

7) Отзыв **Ядыкина Игоря Борисовича**, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории № 82 "Моделирования и управления в больших системах" Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук; содержит два замечания: **1.** В обзоре по теме диссертации следовало бы отметить Концепцию интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью, которая была разработана в 2009–2012 гг. рядом организаций, в том числе ИСЭМ СО РАН под руководством академиков РАН Фортова В.Е. и Макарова А.А. (Бердников Р.Н., Бушуев В.В., Васильев С.Н. и др. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью. Под ред. академиков РАН Фортова В.Е., Макарова А.А. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. – 235 с.). **2.** В диссертации используются термины «стекинг», «когнитивная автоматика», смысловое содержание которых не ясно.

8) Отзыв **Короткевича Михаила Андреевича**, доктора технических наук, профессора кафедры «Электрические системы» Энергетического факультета Белорусского национального технического университета; содержит три замечания: **1.** Целесообразно было бы уточнить, как задаются класс M и целевое условие, какие предпосылки выполняются для рассматриваемых объектов активных распределительных сетей, и достигается ли в работе именно гарантируемое выполнение целевого условия после некоторого момента, либо речь идет об эмпирически наблюдаемом улучшении показателей по данным вычислительных экспериментов. Неизвестно, при каких предположениях о наблюдаемости «возраста» оборудования и корректности оценивания F_{ij} и P можно считать получаемую задачу именно полумарковским процессом принятия решений, а не частично наблюдаемой задачей, и как это влияет на корректность и устойчивость обучения стратегии управления на цифровом двойнике. **2.** В работе следовало бы уделить внимание вопросам влияния возможных отказов элементов измерительной и коммуникационной инфраструктуры на работоспособность системы управления распределительными электрическими сетями. **3.** Стр. 40 таблица 3. В автореферате говорится, что при использовании «Автономного диспетчера» значительно снижаются перенапряжения (примерно на 34%). Из данных таблицы следует, что снижение равно 52,9%.

9) Отзыв **Паздерина Андрея Владимировича**, доктора технических наук, заведующего кафедрой Автоматизированных электрических систем Уральского энергетического института Уральского федерального университета; содержит три замечания: **1.** Критически важным для синтеза и функционирования (полу)автономных систем управления является информационное обеспечение

процесса. Целесообразно было бы привести требования к составу, качеству, дискретности, особенностям хранения и обработки как исходной измерительной информации, так и информации об отклике системы на управляющие воздействия; **2.** Как известно из теории и практики прикладной математики, для применимости методов машинного обучения определяющими являются объем, глубина и достоверность обучающей выборки: малые модели и методы для эффективной работы требуют от 10^{12} точек, полноразмерные – от 10^{36} точек обучающей выборки. Было бы полезным оценить в исследовании, могут ли в принципе быть получены указанные объемы данных в управляемой системе, и при каких условиях; **3.** Из автореферата не вполне ясно, каким образом (полу)автономная система управления синтезируется, стартует и функционирует в условиях отсутствия ретроспективы данных; нестационарности потребления электроэнергии (например, в недавно возникших системах); при отсутствии доступа к определяющему режим фактору (например, производственный план или объем заказов предприятия с нерегулярным графиком, являющийся коммерческой тайной).

10) Отзыв **Гольдштейна Валерия Геннадиевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры "Автоматизированные электроэнергетические системы"; **Косорлукова Игоря Андреевича**, кандидата технических наук, и.о. зав. кафедрой "Автоматизированные электроэнергетические системы" Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Самарский государственный технический университет"; содержит четыре замечания: **1.** Какова роль сетей 0,4 кВ в общей методологии? Являются ли они частью пассивной составляющей системы (первичный сбор информации) или же активной, позволяющей управлять перетоками, отключать повреждённые участки цепи через интеллектуальные устройства учёта электрической мощности? **2.** Имеется ли возможность применения алгоритмов машинного обучения для уже существующих систем мониторинга и АСУ? **3.** Какова «глубина» интеграции предложенной системы в существующие системы мониторинга АСУ и РЗА? Имеется ли возможность полного замещения существующих систем? **4.** Для рисунка 6 отсутствуют пояснения представленных процессов и обозначения зависимостей.

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 привел исчерпывающие ответы.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет» сформировалась и активно развивается научная школа в области анализа и управления режимами распределительных электрических сетей, моделирования и оптимизации систем электроснабжения с распределённой генерацией, а также разработки интеллектуальных и цифровых технологий управления энергетическими объектами. Это подтверждается наличием

публикаций сотрудников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, изданиях, которые входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования.

Выбор оппонентов обосновывается сферой их научных интересов в области исследования режимов активных распределительных сетей и локальных энергорайонов с распределёнными энергетическими ресурсами, их способностью определить научную и практическую ценность диссертации, что подтверждается наличием публикаций оппонентов по теме диссертации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, изданиях, которые входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработан** новый методический подход к построению иерархических автономных систем управления активными распределительными сетями на базе адаптированной «иерархической модели искусственного интеллекта», обеспечивающей интеграцию автоматических, автоматизированных и когнитивных функций управления режимами на уровнях отдельных устройств, микроэнергетических систем, энергорайонов и центров управления сетями;

– **предложена** комплексная методология построения цифрового двойника энергетических систем на базе пятиуровневой архитектуры, принципиально отличающаяся тем, что обеспечивает одновременное комбинированное обучение интеллектуального агента на данных как физической электрической сети, так и её виртуальной полумарковской модели с реальными временными параметрами;

– **доказана** эффективность нового класса самообучающихся систем автоматического управления распределёнными энергоресурсами, объединяющих классическую теорию «уравнений мозга» с современными методами обучения с подкреплением, подтверждаемая результатами апробации, выражающимися в снижении интегральных эксплуатационно-экономических показателей и улучшении показателей надежности и качества электроснабжения;

– **введен** принципиально новый подход к построению автономных диспетчерских систем нового поколения (системы типа «Автономный диспетчер»), обеспечивающих делегирование значительной части оперативных и противоаварийных функций интеллектуальному контуру управления при сохранении стратегического контроля со стороны диспетчера.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– **доказана** возможность формализации иерархического интеллектуального управления режимами активных распределительных электрических сетей на основе объединения методов обучения с подкреплением, теории сложных систем и принципов когнитивной автоматизации, что расширяет теоретические представления о построении автономных систем управления нового поколения;

– **применительно к проблематике диссертации результативно**

(эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** методы обучения с подкреплением и аппарат стохастического (марковского) описания управляемых процессов для синтеза автономных алгоритмов принятия решений при высокой неопределенности, частичной наблюдаемости параметров сети и нестационарности режимов, характерных для сетей с высокой долей распределённых энергоресурсов;

– **изложены** концептуальные и методологические положения построения целостной парадигмы иерархического интеллектуального управления, обеспечивающей согласование решений между уровнями управления и устойчивое функционирование автономных алгоритмов в условиях стохастических возмущений и изменяющихся схемно-режимных условий;

– **раскрыты** недостатки традиционных подходов к оперативному и ситуационному управлению распределительными сетями, связанные с ограниченной применимостью детерминированных регламентных алгоритмов и классических методов оптимизации при неполноте исходной информации, высокой вариативности режимов и существенном влиянии случайных факторов (нагрузка активных потребителей, генерация возобновляемых источников энергии, коммутационные события);

– **изучены** причинно-следственные связи между уровнем наблюдаемости и качеством данных в распределительных сетях, характером неопределенности (стохастичность и нестационарность) и требованиями к математическому аппарату автономных систем управления, обеспечивающему их устойчивую работу и воспроизводимость решений;

– **проведена модернизация** (развитие) существующих теоретико-методических подходов к синтезу систем управления режимами электрических сетей за счет включения аппарата обучения с подкреплением, моделей принятия решений при частичной наблюдаемости и средств когнитивной автоматизации, что обеспечивает устойчивость автономного управления при стохастических возмущениях и изменяющихся схемно-режимных условиях активных распределительных сетей.

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

– **разработаны и внедрены** методология интеллектуальных систем «Автономного диспетчера» и программный комплекс «МЕГА», обеспечивающие автономное оптимальное управление микроэнергетическими системами с распределёнными энергоресурсами; работоспособность и эффективность решений подтверждены апробацией на реальных изолированных микрогридах (Бурятия, Якутия, Приморский край) и на участках сети 10-0,4 кВ (г. Якутск), а также использованием в прикладных проектах;

– **определены** по результатам апробации и опытной эксплуатации достигнутые технико-экономические и экологические эффекты применения

разработанных решений, выражающиеся в снижении приведённых затрат, повышении эффективности электроснабжения, сокращении удельных выбросов парниковых газов за счёт более рационального использования возобновляемых источников энергии и высокоэффективных источников, снижении энергопотребления зданий, улучшении показателей качества электроэнергии и повышении надёжности электроснабжения (за счёт сокращения времени восстановления режимов);

– **создана** гибридная модель прогнозирования на основе ансамблирования алгоритмов машинного обучения по схеме стэкинга (с моделью второго уровня), повышающая точность прогнозирования режимных параметров и выработки возобновляемых источников энергии в составе предложенного цифрового двойника энергетических систем; результаты её апробации и внедрения подтверждены практическим использованием (в т.ч. ОАО «Азерэнерджи»);

– **представлены** предложения по внедрению разработанных решений в распределительных сетях, включая рекомендации по поэтапной интеграции с существующими системами автоматизированного и автоматического управления, настройке контуров управления и регламентированию взаимодействия автономных алгоритмов с диспетчерским персоналом.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **для экспериментальных работ** и опытной апробации использованы реальные объекты (изолированные микроэнергетические системы, участки электрической сети и энергорайоны 10-0,4 кВ, физическая модель гибридной энергетической системы), применялись штатные средства измерений и, принятые в электроэнергетике, методики расчёта технико-экономических показателей, а практическая реализуемость подтверждена актами использования и внедрения;

– **теория опирается** на базовые законы электротехники и теории электрических цепей, а также на корректные математические постановки задач управления режимами электрических сетей, учитывающие стохастичность, нестационарность и частичную наблюдаемость параметров в активных распределительных сетях;

– **идеи базируются** на обобщении и критическом анализе работ мирового уровня по разработке интеллектуальных систем управления режимами современных электроэнергетических систем;

– **использованы** адекватные исследуемым процессам математические модели и вычислительные методы (в том числе модели цифрового двойника, методы прогнозирования и интеллектуального управления), обеспечивающие согласованность теоретических положений с результатами, полученными при внедрении и апробации;

– **установлено** качественное и количественное совпадение данных полученных автором с результатами независимых исследований по теме диссертационной работы;

– **использованы** представительные массивы измерительных и расчетных данных по режимам микроэнергетических систем и распределительных сетей, их обработка и обобщение выполнены обоснованными вычислительными процедурами, а реализация и верификация моделей и алгоритмов осуществлялись в программном комплексе «МЕГА» и специализированных пакетах программных сред Python и Julia.

Личный вклад соискателя заключается в постановке задач диссертационного исследования, разработке методологии исследования, создании математических моделей и вычислительных алгоритмов для развития принципов когнитивной автоматизации, адаптации к задачам управления электрическими сетями методов обучения с подкреплением, разработки моделей самообучающихся систем автоматического управления распределёнными энергетическими ресурсами, автономных диспетчерских систем управления микроэнергетическими системами и энергорайонами, а также проведения экспериментов, анализе результатов измерений и их обобщений. Соискатель являлся руководителем и основным исполнителем научно-исследовательских работ по тематике диссертационной работы.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В чём заключается новизна предложенного подхода к построению цифрового двойника? Чем он отличается от того, что на сегодня есть?
2. Может ли возникнуть диссонанс в принятии решений между оперативным управлением, которое осуществляется диспетчером, и Вашей автономной системой управления? Диспетчер, осуществляя управление, исходит из собственного опыта, а предлагаемые цифровые системы могут противоречить этому?
3. Насколько предложенная Вами система управления готова для внедрения в локальные энергетические системы? Вы ничего не говорили о технологических системах, о сетях, о требованиях как они должны быть построены для того, чтобы автономная цифровая система управления могла быть реализована.

Соискатель Томин Никита Викторович ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Действительно, сегодня в энергетике есть разные подходы для построения цифрового двойника. Во-первых, отличие заключается в том, что впервые использован аппарат обучения с подкреплением. Во-вторых, реализуется более универсальная пятиуровневая архитектура. Существующие сегодня решения, например, разработка ЦДЭС от НТИ МЭИ, строятся на моделировании дифференциальных уравнений и фактически работает только с реальными измерениями. В моей диссертации предложено дополнение к

такому физическому моделированию: реализация виртуальной имитационной среды, построенной на основе марковских процессов принятия решений. Это позволяет «наполнять» цифровой двойник дополнительными данными (чего нет в предложенных ранее решениях) и реализовать так называемый «умный цифровой двойник», который постоянно повышает эффективность своей работы.

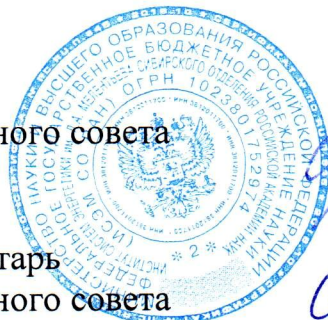
2. В своей работе я использовал идеологию именно поэтапного внедрения таких систем. Такие противоречия действительно могут возникнуть, если автономная система управления будет реализована одномоментно, наряду с действующими функциями оперативно-диспетчерского управления. При поэтапном внедрении, как на данный момент реализуется, например, ПАО «Россети», где сначала внедряется распределительная автоматизация, потом повышается уровень цифровизации энергетической системы (устанавливают интеллектуальные счетчики, средства измерения и т.д.). После этого, формируется так называемая автоматизированная система технологического диспетчерского управления. Определённый аналог предложенного «Автономного диспетчера» есть сегодня у ПАО «Россети» – система «Олимп-ИИ», которая берет постепенно часть функций диспетчера, чтобы не возникало этих противоречий, и первоначально может работать на сигнал, как «советчик диспетчера». Однако реальная практика внедрения таких систем показывает, что определённые противоречия всё равно возникают, но это именно проблема внедрения. Очевидно, здесь необходимо согласование.
3. В диссертации есть отдельный подраздел, где как раз формализованы такие требования, то есть какие должны быть требования к энергетическим системам, чтобы такую систему управления можно было развернуть. Кроме того, в своей диссертации я ориентировался на национальные интересы РФ в области цифровизации электроэнергетики, в частности проекты ПАО «Россети» по цифровым районам электрических сетей, которых к 2030 году по плану, должно быть уже 1500. Эти энергорайоны фактически готовы для внедрения таких систем. Поэтому в работе предложенные решения ориентируются на подобные проекты и такие цифровые энергорайоны. Очевидно, что в обычной распределительной сети любую цифровую систему, даже не автономную, развернуть невозможно.

На заседании 24 марта 2026 года диссертационный совет принял решение: за создание целостной научно-методической концепции иерархического интеллектуального автономного управления режимами активных распределительных электрических сетей с распределёнными энергоресурсами, разработку математического аппарата, самообучающихся алгоритмов управления и программно-инструментальных средств реализации, а также за полученные на их основе теоретические и прикладные результаты, подтверждённые апробацией и внедрением, квалифицируемые как решение крупной научной проблемы

повышения эффективности, надёжности и экологичности функционирования современных электроэнергетических систем, имеющей важное значение для энергетики и экономики России, присудить Томину Никите Викторовичу учёную степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – 0 человек, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Стенников Валерий Алексеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Солодуша Светлана Витальевна

24 марта 2026 г.