

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Томина Никиты Викторовича  
**«Методологические основы синтеза автономных систем управления режимами активных распределительных сетей с применением машинного обучения»**, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика

Развитие активных распределительных сетей напряжением 0,4-35 кВ, массовое внедрение объектов распределенной энергетики, в том числе объектов на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), широкое применение устройств силовой электроники, а также вовлечение потребителей в управление спросом существенно усложняют схемно-режимные условия и повышают требования к быстродействию и качеству управления. Для создания систем режимной и противоаварийной автоматики принципиально то, что число возможных комбинаций возмущений, в том числе аварийных, и скорость переходных процессов возрастает, при этом наблюдаемость параметров режима в распределительных сетях напряжением 0,4-35 кВ крайне ограничена. Кроме того, неопределенность исходных данных (нагрузки, мощности ВИЭ), состояние устройств релейной защиты и автоматики, а также положения коммутационных аппаратов являются определяющими для выработки и реализации адекватных управляющих воздействий. В этой связи переход от «алгоритмически жестких» средств автоматизации к интеллектуальным и частично автономным системам управления, вырабатывающим управляющие воздействия в режиме реального времени и предлагающим оперативно-технологическому персоналу корректные сценарии действий, является обоснованным. Поэтому тема диссертационной работы Томина Н.В., направленная на развитие методологических основ синтеза автономных систем управления режимами активных распределительных сетей с применением методов машинного обучения, представляется актуальной и соответствующей текущему этапу развития отечественной электроэнергетики.

Содержание автореферата отражает комплексный характер исследования: рассматриваются вопросы построения иерархической интеллектуальной системы управления режимами активных распределительных сетей, принципы «делегированной автономии» и ситуационного управления, а также методическое обеспечение цифровых двойников, как основы для обучения и верификации интеллектуальных алгоритмов.

Научная новизна диссертационной работы состоит не в декларировании использования машинного обучения, а в системном объединении нескольких направлений, часто существующих разрозненно: моделей режима и изменений конфигурации сети, контуров локального регулирования и оперативно-технологического управления, средств обеспечения качества данных и механизмов обучения управляющих агентов в условиях частичной наблюдаемости и нестационарности. Разработанный соискателем подход ориентирован на активные распределительные сети – наиболее «сложный» по

наличию неопределенностей уровень электроэнергетической системы, где классические методики настройки устройств автоматики и регламентируемые процедуры оперативно-технологического управления часто не обеспечивают требуемое быстродействие и адаптивность. В диссертационной работе соискатель уделяет внимание не только архитектурным вопросам (как совместить моделирование, наблюдение, прогнозирование и управление) и разработке частных алгоритмов, но и методологическом уровню.

Практическая значимость диссертационной работы Томина Н.В. заключается в повышении эффективности и надежности управления режимами активных распределительных сетей и микросетей с распределенными энергоресурсами за счет разработки и внедрения методологии автономного интеллектуального управления, включая цифровые двойники и самообучающиеся алгоритмы. Это позволяет, как показывают результаты апробации, обеспечить снижение приведенной стоимости электроэнергии LCOE на 20-60% для отдельных изолированных энергорайонов, уменьшение выбросов CO<sub>2</sub> в 2-3 раза за счет более эффективного использования объектов ВИЭ, снижение энергопотребления зданий, улучшение качества электроэнергии в энергорайонах (снижение отклонений напряжения до 30%) и сокращение времени восстановления электроснабжения потребителей (снижение индекса SAIDI на 25–50%). Практическая ценность также заключается в повышении точности прогнозирования режимных параметров активных распределительных сетей, реализации программных средств и их апробации на участках распределительной сети напряжением 0,4 кВ в проектах цифровизации энергорайонов. Концепция автономных диспетчерских систем ориентирована на разгрузку оперативно-технологического персонала, так как система управления способна взять на себя до 90% оперативных решений в части оперативно-технологического управления при сохранении стратегического контроля за персоналом, что соответствует современным требованиям к «человеко-машинным» контурам управления в электроэнергетике.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы Томина Н.В. основана на корректном использовании математического аппарата и моделей, соответствии фундаментальным положениям электротехники и теории электрических цепей, результатах апробации и внедрения отдельных технических решений. Основные результаты диссертационной работы изложены в 49 печатных изданиях, в том числе 9 статей, опубликованных в журналах (К1, К2), рекомендованных ВАК по специальности 2.4.3. Электроэнергетика, 4 статей – в изданиях (К1, К2), рекомендованных ВАК по другим специальностям, 15 публикациях – в периодических научных журналах (Q1, Q2), индексируемых базами научного цитирования Web of Science и Scopus, 14 – в сборниках тезисов докладов. Кроме того, соискателем зарегистрированы 2 программы для ЭВМ.

По автореферату диссертации возникли следующие вопросы и 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 QU-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.

Приведенные вопросы и замечания не снижают высокой положительной оценки диссертационной работы, поскольку существенно не влияют на основные выводы, а также на полученные научные и практические результаты.

Диссертационная работа Томина Н.В. на тему «Методологические основы синтеза автономных систем управления режимами активных распределительных сетей с применением машинного обучения» является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, обладает научной новизной и практической значимостью результатов, соответствует паспорту научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика. В диссертационной работе изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения по созданию иерархической интеллектуальной системы управления режимами активных распределительных сетей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие электроэнергетики страны. По своему теоретическому уровню и практическому значению диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а именно критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024), а ее автор Томина Никита Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Доктор технических наук, главный научный сотрудник,  
руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем  
и распределенной энергетики ИНЭИ РАН

Павел Владимирович Илюшин

02 февраля 2026 г.

Тел. (моб): +7(915) 092-98-33

E-mail: ilyushin.pv@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт энергетических исследований Российской академии наук» (ИНЭИ РАН)

Адрес: 117186, Россия, г. Москва, ул. Нагорная, д. 31, корп. 2.

Телефоны: +7 (499) 127-46-64, +7 (499) 123-98-78.

E-mail: info@eriras.ru, Web-сайт: <https://www.eriras.ru/>

