

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Томина Никиты Викторовича «Методологические основы синтеза автономных систем управления режимами активных распределительных сетей с применением машинного обучения», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по научной специальности

### 2.4.3. Электроэнергетика

Современные электроэнергетические системы переживают период радикальной трансформации, обусловленной стремительным развитием распределенной и возобновляемой генерации, внедрением активных элементов сети, появлением новых сервисов гибкого спроса и массовым использованием силовой электроники. В этих глобальных процессах активные распределительные сети становятся все более сложными и характеризуются высокой степенью неопределенности и стохастичности процессов, что создает принципиально новые вызовы для систем управления. Традиционные средства автоматизации достигают своего предельного потенциала и не способны эффективно решать задачи управления в условиях возрастающей сложности современных электрических сетей.

Для электроэнергетики России предложенные в диссертации Н.В. Томина решения приобретают особую значимость в контексте концепции энергорайонов – локализованных фрагментов распределительных сетей с высокой степенью наблюдаемости и управляемости. В отличие от крупных энергосистем, где автоматическое восстановление режимов после аварий происходит локально и не всегда оптимально, в энергорайонах появляется возможность реализации централизованной интеллектуальной автоматики нового типа. Учитывая большое количество оперативных переключений в распределительных сетях и их оснащение современным коммутационным оборудованием, внедрение интеллектуальных систем управления на базе искусственного интеллекта открывает новые перспективы повышения качества и надежности электроснабжения российских потребителей.

В этих условиях тема диссертационного исследования Томина Н.В., посвященная разработке методологии построения интеллектуальных автономных систем управления режимами активных распределительных электрических сетей на основе принципов когнитивной автоматизации, цифровых двойников и методов обучения с подкреплением, представляется чрезвычайно актуальной и своевременной.

Диссертационная работа направлена на решение крупной научной проблемы создания нового класса автономных систем управления, способных самостоятельно адаптироваться к изменяющимся условиям функционирования электрических сетей и принимать обоснованные решения в условиях неполноты информации. Объектом исследования выступают активные распределительные электрические сети напряжением 35-0,4 кВ с высокой долей распределенных

энергетических ресурсов (РЭР). Предметом исследования являются методы и алгоритмы интеллектуального управления режимами таких сетей на основе когнитивной автоматизации и машинного обучения.

Научная новизна работы заключается в разработке комплексной методологии построения иерархической автономной системы управления (ИАСУ) для цифровой трансформации распределительных электрических сетей, интегрирующей технологии цифровых двойников, машинное обучение и когнитивную автоматизацию. Впервые предложена концепция когнитивной автоматизации для активных распределительных сетей, предусматривающая интеграцию оперативно-диспетчерского и автоматического управления в единую автономную систему. Разработана оригинальная пятиуровневая архитектура цифрового двойника энергетических систем, обеспечивающая комбинированное обучение агента обучения с подкреплением на данных как физической сети, так и её виртуальной модели с многоуровневой достоверизацией данных.

Особую ценность представляет методология синтеза нового класса самообучающихся систем автоматического управления (САУ) на основе объединения теории «уравнений мозга» и методов обучения с подкреплением, позволяющая реализовать адаптивное управление различными РЭР в условиях неполноты и стохастичности информации. Разработан принципиально новый подход к построению автономных диспетчерских систем типа «Автономный диспетчер», способных брать на себя до 90% оперативных решений с сохранением стратегического контроля за человеком.

Практическая значимость диссертационной работы подтверждается широкой апробацией разработанных методов и программных решений, реализованные на объектах электроэнергетики различных регионов России. Созданный программный комплекс управления микроэнергетическими системами продемонстрировал значительное снижение эксплуатационных затрат и улучшение экологических показателей при испытаниях на изолированных локальных энергорайонах Сибири и Дальнего Востока. Методы оптимизации энергопотребления зданий внедрены энергетическими компаниями на различных типах объектов в нескольких регионах страны. Реализация цифровых двойников энергорайонов в конкретных пилотных проектах продемонстрировала существенное улучшение показателей надежности и качества электроснабжения. Учитывая масштабы распределительных сетей России и нарастающую интеграцию возобновляемых источников энергии, предложенная методология может стать основой для системной модернизации управления активными распределительными сетями на федеральном уровне с значительным экономическим и социальным эффектом.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью математических моделей, их адекватностью исследуемым процессам, соответствием базовым законам электротехники и теории электрических цепей, экспериментальной проверкой на физических моделях энергооборудования, а также успешным внедрением в реальных проектах. Результаты исследований доклады-

вались на ведущих международных конференциях, опубликованы в высокорейтинговых научных журналах и находятся в соответствии с результатами других авторов.

По результатам диссертационных исследований опубликовано 49 научных работ, включая 9 статей в журналах, рекомендованных ВАК по специальности 2.4.3, 15 статей в периодических научных журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus (Q1, Q2), 2 монографии, зарегистрированы 2 программы для ЭВМ. Результаты получены при поддержке грантов РНФ и РФФИ, что свидетельствует о высоком уровне исследований.

По автореферату возникли следующие вопросы и 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 проблемам: 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?

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

Диссертационная работа Томина Н.В. на тему «Методология построения интеллектуальных автоматизированных систем управления активными распределительными электрическими сетями» является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, обладает несомненной научной новизной и высокой практической значимостью полученных результатов, соответствует паспорту специальности 2.4.3 – Электроэнергетика. В диссертационной работе изложены новые научно обоснованные технические, технологические и методологические решения в области управления активными распределительными электрическими сетями, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие цифровой энергетики 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 Томин Никита Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Профессор кафедры Гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Доктор технических наук, доцент  
Суслов Константин Витальевич

dr.souslov@yandex.ru

+7(914)870-46-73

Сведения о месте работы:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Адрес: Россия, 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14, стр. 1

Телефон: +7 495 362-75-60

e-mail: universe@mpei.ac.ru, web-сайт: <https://mpei.ru/>

Подпись Сусллова Константина Витальевича заверяю

