

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

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

Диссертационная работа посвящена разработке новых принципов построения и синтеза автономных интеллектуальных систем управления режимами активных распределительных сетей с использованием методов машинного обучения. В условиях цифровой трансформации электроэнергетики тема исследования является исключительно актуальной, так как существующие автоматизированные системы управления и традиционные алгоритмы регулирования уже не обеспечивают требуемой адаптивности и скорости принятия решений при высокой вариативности режимов, вызванной широким внедрением распределённой и возобновляемой генерации, электромобилей, микросетей и активных потребителей.

Автор убедительно показал, что современные активные распределительные сети становятся сложными многоагентными системами со стохастическим поведением и множеством уровней управления. Традиционные методы диспетчеризации и локальной автоматизации оказываются ограниченными, что диктует необходимость создания когнитивной автоматизации — интеллектуальных систем, способных к самообучению, самоорганизации и адаптивному выбору стратегии управления. Работа органично вписывается в стратегические приоритеты развития энергетического комплекса России. В соответствии с Энергетической стратегией РФ до 2035 года и стратегией НТР страны, ВИЭ, микрогенерация и энергоэффективные технологии рассматриваются как основа нового технологического базиса. Развитие методологий построения микросетей и их агрегации в энергетические сообщества, предложенное автором, отвечает этим целям и способствует формированию научных основ будущей распределённой энергетики. Более того, в рамках процессов цифровой трансформации электроэнергетики, определённой указом Президента РФ № 204 и распоряжением Правительства № 2801-р, исследование фактически формирует новый этап цифровизации — переход от цифровых энергорайонов к энергетическим сообществам, актуальный как для городских сетей, так и для изолированных энергорайонов Сибири и Дальнего Востока.

В рамках работы разработаны многоуровневая концепция и методологические основы построения иерархических интеллектуальных автономных систем управления, интегрирующих технологии цифровых двойников, машинного обучения и когнитивной автоматизации. При этом рассматриваются вопросы перехода от традиционных систем управления к автономным на всех уровнях - от локальных устройств до центра управления сетями (ЦУС).

В работе автор впервые провёл комплексный анализ современных технологий искусственного интеллекта и машинного обучения для задач управления в электроэнергетике и выявил наиболее перспективные направления их применения. Также выполнены объёмные исследования и разработка методологических основ синтеза автономных систем управления, и получены обширные систематизированные результаты, позволяющие проводить дальнейшие исследования с применением разработанного методического и вычислительного инструментария. В частности, автором впервые получены оценки эффективности различных алгоритмов обучения с подкреплением применительно к задачам управления энергетическими объектами, разработаны новые классы самообучающихся систем автоматического управления, на которые можно опираться в дальнейших исследованиях развития автономных систем в электроэнергетике.

Диссертационная работа отличается высокой степенью научной новизны и значимым вкладом в развитие современной теории управления режимами электроэнергетических систем. Автору удалось сформировать целостную методологию синтеза автономных интеллектуальных систем управления активными распределительными сетями, основанную на органическом объединении принципов когнитивной автоматизации, цифровых двойников и методов машинного обучения. Такой подход переходит от традиционных автоматов и жёстко заданных алгоритмов к самообучающимся интеллектуальным системам, способным самостоятельно адаптироваться к изменяющимся условиям функционирования электроэнергетических объектов.

Научная ценность проведённого исследования заключается в развитии представлений о структуре и функциях автономного интеллекта в управлении энергетическими сетями. Автор обосновал принципы иерархической организации таких систем и показал, что реализация многоуровневых механизмов обучения с подкреплением обеспечивает согласованные решения на разных уровнях управления — от локальных регуляторов и микросетей до ЦУСов. Такое решение позволяет объединить функции автоматического и диспетчерского управления в единый когнитивный контур.

Особое значение имеет предложенная архитектура цифрового двойника энергетических систем, включающая взаимодействие физической и виртуальной моделей, обеспечивающее совместное обучение и верификацию управляющих решений. Такое представление впервые связывает поведенческие аспекты участников энергетических систем с их техническими характеристиками, расширяя возможности прогнозного и оптимального управления. Важным достижением является также развитие концепции самообучающихся систем автоматического управления, где методы обучения с подкреплением связаны с адаптивным моделированием. Это позволило соискателю реализовать интеллектуальные алгоритмы управления в активных электрических сетях с высоким уровнем стохастичности и неопределённости.

На основе предложенных идей автором создан концепт автономной диспетчерской системы нового поколения — «Автономного диспетчера», представляющего собой интеллектуальное ядро иерархической системы управления. Такое решение фактически формирует новую парадигму в автоматизации электроэнергетических процессов, обеспечивая принципиально иной уровень автономности и оперативности управления при сохранении стратегического контроля оператора.

Важно заметить, что теоретические выводы, представленные автором диссертационной работы, опираются на строгие математические модели динамики электрических сетей, методы оптимизации и игровые подходы, а достоверность подтверждается множеством численных экспериментов и широкой апробацией, включая участие автора в большом количестве крупных международных конференций, семинарах. Особо следует отметить, что работа обсуждалась и получила поддержку на совместном заседании Секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» и Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике.

Практическая значимость данной диссертационной работы определяется её высокой прикладной направленностью и возможностью непосредственного использования предложенных методологических принципов, математических моделей и программных решений в реальных задачах управления современными энергетическими системами. Разработанные подходы создают основу для формирования интеллектуальных ЦУС и автономных модулей управления в составе активных микроэнергетических систем нового поколения. Комплекс предложенных инструментов обеспечивает повышение надёжности и эффективности работы распределительных сетей, сокращение времени реакции на аварийные процессы, оптимизацию режимов и рациональное использование энергетических ресурсов.

Эффективность разработанных решений подтверждена обширной апробацией и внедрениями в практику. Методология интеллектуальных систем «Автономный диспетчер» и разработанный программный комплекс «МЕГА» продемонстрировали высокие технико-экономические и экологические эффекты при испытаниях на изолированных микрогридах Бурятии, Якутии и Приморского края. Гибридная метамодель прогнозирования и алгоритмы цифрового двойника были внедрены в ОАО «Азерэнерджи» (Азербайджан), обеспечив существенное повышение точности прогнозов режимов работы ветроэнергетических установок на реальной подстанции. Методика автономного управления нагрузками зданий, обеспечивающее эффективную многокритериальную оптимизацию электропотребления, была реализована на ряде объектов Якутска, Владивостока, Благовещенска и Московской области.

Ряд разработок, представленные в диссертации, использованы при выполнении научно-исследовательских проектов ИСЭМ СО РАН, а также в инициативах по цифровизации энергорайонов в Иркутске и Якутске, что подтвердило технологическую зрелость и высокий потенциал результатов работы. Созданные программные комплексы, зарегистрированные программные продукты и акты внедрения свидетельствуют, что диссертация имеет не только теоретическую, но и значимую инженерно-практическую ценность для развития отечественной цифровой и распределённой электроэнергетики.

Таким образом следует отметить, что диссертационная работа Томина Н.В. отличается глубиной теоретического анализа, высоким уровнем оригинальности, убедительной экспериментальной проверкой и высокой практической значимостью. Результаты исследования вносят важный вклад в развитие отечественной науки в области управления электроэнергетическими системами, расширяют фундаментальные основы цифровой энергетики и искусственного интеллекта.

Диссертационная работа диссертанта полностью соответствует выбранному шифру специальности, выполнена на высоком научном уровне, содержит новые теоретические и методические результаты и имеет важное практическое значение.

За время выполнения работы диссертант показал себя как зрелый специалист в области электроэнергетики и искусственного интеллекта, способный решать сложные научные проблемы по развитию систем управления. Им опубликовано 49 научных работ, в том числе 9 статей издано в научных журналах из перечня ВАК по научной специальности 2.4.3., 15 статей в журналах, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus (в том числе, 7 статей первого квартиля Q1), и 2 программы для ЭВМ.

Объем и содержание диссертации соответствуют требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а автор, Томин Никита Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Научный консультант,  
доктор физико-математических наук,  
доцент, профессор РАН,  
главный научный сотрудник  
отдела прикладной математики  
ИСЭМ СО РАН



Сидоров Денис Николаевич

Дата 18. 04. 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН).

Почтовый адрес: 664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130, каб. 238

Электронная почта: dsidorov@isem.irk.ru, телефон: 7 (3952) 500-646, доб. 258

