

ОТЗЫВ

официального оппонента – кандидата технических наук Киндры Владимира Олеговича на диссертационную работу Минеева Павла Алексеевича на тему «Повышение эффективности работы турбоустановок электрических станций с использованием искусственных нейронных сетей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы»

Актуальность темы исследования

В настоящее время существенный интерес вызывает разработка инновационных подходов к повышению энергетической эффективности работы оборудования, способных обеспечить оперативную оптимизацию режимов в условиях постоянно меняющихся нагрузок. Традиционные методы оптимизации не в полной мере учитывают сложность и многопараметричность современных турбоустановок, что делает актуальным поиск новых решений, в том числе и на основе нейросетевых технологий.

Внедрение предложенных подходов может повысить эффективность использования топливно-энергетических ресурсов, снизить производственные издержки и обеспечить более точное управление технологическими процессами в режиме реального времени, что соответствует приоритетным задачам развития современной энергетики.

Общая характеристика и оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 174 наименования, и приложений. Работа представлена на 157 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков и 11 таблиц.

Во введении автор обосновывает актуальность способов исследования эффективности турбоустановок с использованием средств нейросетевого моделирования, формулирует цель и задачи исследования.

Первая глава посвящена анализу современного состояния проблем в области повышения энергетической эффективности турбоустановок. Проведен детальный обзор существующих методов оптимизации, проанализированы перспективные направления развития технологий, включая нейросетевые модели. Рассмотрены различные подходы к повышению эффективности как основного, так и вспомогательного оборудования турбоустановок. Особый акцент сделан на изучении возможностей применения искусственных нейронных сетей в теплоэнергетике.

Вторая глава содержит описание процесса определения целевых функций и входных данных для нейросетевых моделей турбоустановок. Описаны методики проведения промышленного эксперимента и оценки погрешности измерений. Особое внимание уделено вопросам формирования обучающей выборки и подготовки данных для нейросетевого моделирования.

Третья глава посвящена разработке нейросетевой модели турбоустановки. Проведен анализ влияния параметров на целевые функции с использованием методов факторного и кластерного анализа. Представлен разработанный алгоритм создания искусственных нейронных сетей, описан процесс валидации модели. Разработан и реализован программный комплекс для работы с нейросетевыми моделями.

Четвертая глава посвящена решению задачи оптимизации режима работы турбоустановки с использованием нейросетевых технологий. Проведена оценка возможностей системы регулирования, выполнен предварительный анализ влияния различных параметров на режим работы. Представлены результаты оптимизации и оценка эффективности разработанных алгоритмов. Особое внимание уделено практическому применению полученных результатов.

В заключительной части работы обобщены основные результаты исследования, показана практическая значимость полученных результатов. Представлены рекомендации по использованию разработанных методик и определены направления дальнейших исследований в данной области. Подчеркнута важность внедрения предложенных решений для повышения эффективности работы турбоустановок.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем. Автором проведен уникальный анализ и систематизация регулируемых параметров турбоустановки, влияющих на ее режим работы, с последующей оценкой их значимости посредством многофакторного анализа. Впервые для каждого параметра определены количественные характеристики влияния на показатели эффективности, что позволило сформировать иерархическую структуру приоритетов при оптимизации режимов работы оборудования.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждается комплексным подходом к исследованию и применением апробированных методов.

Практическая проверка разработанных алгоритмов проведена на действующем оборудовании с получением положительных результатов промышленного эксперимента. Внедрение программного комплекса на Калининской АЭС подтверждает работоспособность предложенных решений.

Обоснованность выводов подтверждается применением корректных методов обработки экспериментальных данных, проведением валидации нейросетевых моделей на независимых наборах данных.

Результаты исследования прошли апробацию на научных конференциях различного уровня, что дополнительно подтверждает их научную обоснованность. Публикация основных положений в рецензируемых научных изданиях свидетельствует о признании научным сообществом полученных результатов.

Значимость результатов определяется следующими положениями:

Во-первых, автором научно обоснована целесообразность применения нейросетевых технологий для моделирования сложных теплоэнергетических процессов в турбоустановках. Разработанный алгоритм создания НС-моделей с учетом результатов кластерного и факторного анализа позволяет существенно повысить точность прогнозирования показателей эффективности.

Во-вторых, диссертация вносит вклад в развитие теории оптимизации энергетических установок путем выявления и систематизации групп параметров, влияющих на режим работы турбоустановки. Проведенное исследование влияния уровней конденсата, расхода греющего пара и охлаждающей воды на показатели эффективности расширяет теоретические представления о механизмах управления теплоэнергетическими процессами.

В-третьих, на базе представленной методологии решения задачи оптимизации с использованием НС-моделей разработан программный комплекс, принятый к внедрению на Калининской АЭС для использования в целях повышения энергетической эффективности работы турбоустановки К-1000-60/3000 4 энергоблока.

Замечания и вопросы по диссертации

1. В работе представлена разработка математической модели расчета показателей тепловой экономичности турбоустановки электростанции, при этом в тексте диссертации не приводится описание математического аппарата.

2. В тексте диссертации следовало бы более подробно обосновать новизну разработанного алгоритма оптимизации работы турбоустановки.

3. Вместо общеизвестных формул расчета показателей тепловой экономичности турбоустановки в описании содержания второй главы автореферата следовало бы привести обоснование выбора целевой функции, факторов оптимизации, а также отметить уникальные особенности разработанной математической модели.

Вышесказанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Публикации результатов

Результаты исследования опубликованы в 26 научных работах, включая 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 1 статью, индексируемую в международной базе Scopus, 1 статью в других научных изданиях, 18 тезисов и полных текстов докладов конференций, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Основные положения диссертации прошли апробацию на 9 научно-технических конференциях различного уровня, включая международные форумы.

Заключение по диссертации

Проведенное диссертационное исследование представляет собой завершенное научно-техническое исследование, направленное на решение актуальной задачи повышения эффективности работы турбоустановок электрических станций.

Автором успешно решены поставленные задачи, включая разработку алгоритма создания нейросетевых моделей, проведение промышленного эксперимента и валидацию полученных результатов. Предложенные технические решения обоснованы теоретически и подтверждены практическими исследованиями на реальном энергетическом оборудовании.

Особую ценность представляет комплексный подход к решению проблемы, включающий разработку математического аппарата, программного обеспечения и методики практической реализации. Полученные результаты

имеют существенное значение для развития современных методов управления энергетическим оборудованием.

Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в актуальной редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, и содержит достаточное количество научно обоснованных результатов, а соискатель, Минеев Павел Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы».

Официальный оппонент:

Киндра Владимир Олегович,
доцент кафедры инновационных технологий
наукоемких отраслей
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «МЭИ»,
кандидат технических наук

 В.О. Киндра
«11» ноября 2025 г.

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

Адрес организации: 111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ
Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.

Телефон: +7 495 362-70-01

Адрес электронной почты: universe@mpei.ac.ru

Официальный сайт: <https://mpei.ru/>

Подпись Киндра В.О. заверяю
Проректор по науке и инновациям
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»





Комаров Иван Игоревич