

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.14
по диссертации Килина Григория Александровича
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация «Автоматизация испытаний систем управления электроэнергетическими газотурбинными установками с использованием нейросетевых моделей» по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами принята к защите «30» июня 2022 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.14, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «27» января 2022 г. № 4-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым - четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. №-127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. №-1792-р.

Диссертация выполнена на кафедре «Электротехника и электромеханика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Кавалеров Борис Владимирович, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, заведующий кафедрой «Электротехника и электромеханика».

Официальные оппоненты:

1) Макарьянц Георгий Михайлович, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, заведующий кафедрой «Эксплуатация авиационной техники»,

2) Абдулнагимов Ансаф Ирекович, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, кафедра «Автоматизированные системы управления», доцент, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, г.Москва (отзыв ведущей организации утвержден проректором по науке и стратегическим коммуникациям, доктором экономических наук, профессором Дроговозом Павлом Анатольевичем, заслушан на заседании кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» и подписан Гаврюшиным Сергеем Сергеевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой, Овсянниковым Михаилом Владимировичем, кандидатом технических наук, доцентом).

По теме диссертации соискателем опубликовано **26** научных трудов, в том числе **26** работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, из них **9** работ – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science Core Collection, Mathematics, Scopus, Springer, MathSciNet и т.д., соискателем получено **4** свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1) Kilin G. A. et al. Modeling gas turbine electro power station typical operating modes using pre-trained artificial neural network //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2022. – Т: 990. – №. 1. – С. 012028 (Scopus);

2) KavaleroV B.V., Kilin G.A., Suslov A.I. Neural network architecture choice for modelling various configurations power system //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1886. – №. 1. – С. 012007 (Scopus);

3) Kilin G. A. et al. Stand for automation of control systems tests for electric power gas turbine installations using neural network models //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2021. – Т. 2402. – №. 1. – С. 030023 (Scopus);

4) Kilin G. A., KavaleroV B. V., Suslov A. I. Set of Neural Network Models for Intelligent Control of Low-and Medium-Capacity Gas-Turbine Power Plants //Russian Electrical Engineering. – 2020. – Т. 91. – №. 11. – С. 659-664 (Scopus);

5) KavaleroV B. V., Bakhirev I. V., Kilin G. A. Using Neural Networks in Controlling Low-and Medium-Capacity Gas-Turbine Plants //Russian Electrical Engineering. – 2019. – Т. 90. – №. 11. – С. 737-740 (Scopus).

В данных работах соискатель представил основные результаты своего диссертационного исследования: предложил использовать искусственные нейронные сети (ИНС) для построения нейросетевых моделей (НСМ) газотурбинных электростанций (ГТЭС), которые предназначены для автоматизации испытаний регуляторов систем автоматического управления (САУ) газотурбинными установками (ГТУ) и для настройки параметров САУ ГТУ в ходе испытаний. Предложена новая подсистема подготовки нейросетевых моделей в составе системы автоматизации испытаний (САИ) САУ электроэнергетическими ГТУ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая методика автоматизации испытаний САУ электроэнергетическими ГТУ с использование нейросетевых моделей ГТЭС, позволившая автоматизировать процедуру получения моделей ГТЭС и сократить время настройки САУ ГТУ при проведении испытаний;

предложен оригинальный подход к выбору и обоснованию архитектуры и гиперпараметров искусственной нейронной сети для автоматизации получения нейросетевых моделей ГТЭС;

доказана перспективность использования нейросетевых моделей ГТЭС для автоматизации испытаний САУ ГТУ;

введены: понятие подсистемы подготовки нейросетевых моделей САИ; понятие базовой архитектуры искусственной нейронной сети для автоматизированного получения нейросетевых моделей ГТЭС различных режимов работы и схем электроснабжения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны: методика выбора и обоснования архитектуры искусственной нейронной сети для автоматизированного построения моделей ГТЭС; методика автоматизации испытаний САУ ГТУ с использованием нейросетевых моделей ГТЭС;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс базовых методов теории автоматического управления, идентификации и оптимизации, математического моделирования и теории искусственных нейронных сетей для автоматизации испытаний САУ ГТУ с использованием нейросетевых моделей;

изложены доказательство методики выбора и обоснования архитектуры искусственной нейронной сети; этапы и условия использования методики автоматизации испытаний САУ ГТУ с использованием нейросетевых моделей ГТЭС;

раскрыты противоречия использования традиционных моделей ГТЭС, имеющие место при испытаниях САУ ГТУ;

проведена модернизация существующих алгоритмов и математических моделей для автоматизации испытаний САУ ГТУ, модернизирована САИ за счет интеграции в ее состав подсистемы подготовки нейросетевых моделей, реализованной в виде программно-моделирующего комплекса.

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

разработаны и внедрены подсистема САИ для подготовки нейросетевых моделей, реализованная в виде программно-моделирующего комплекса на ООО НТЦ «Турбопневматик» для разработки и верификации математических моделей объектов управления и проведения диагностики газотурбинных двигателей замкнутого цикла (ЗГТД); нейросетевые модели ГТЭС, использование которых позволяет сократить время настройки параметров регулятора САУ ГТУ не менее чем в 2,4 раза, а время восстановления частоты электрогенератора ГТЭС сократилось не менее чем на 88,9%;

определены перспективы практического использования разработанной подсистемы САИ для подготовки нейросетевых моделей ГТЭС;

создана система практических рекомендаций по построению искусственных нейронных сетей для автоматизации испытаний САУ ГТУ;

представлены методические рекомендации по разработке нейросетевых моделей, учитывающих различные режимы и схемы функционирования энергосистемы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов исследований в условиях моделирования и испытаний при моделировании в производственном процессе;

теория построена на известных данных и согласуется с опубликованными экспериментальными данными других авторов;

идея базируется на анализе передового опыта существующих методик испытаний САУ ГТУ для ГТЭС, исследовании возможностей их улучшения путем модернизации существующих и разработки новых методик;

использовано сравнение авторских данных результатов моделирования ГТЭС и данных моделирования, полученных ранее другими авторами;

установлено качественное и количественное совпадение результатов, полученных автором, с результатами, полученными по итогам внедрения и известными экспериментальными данными из независимых источников;

использованы методы проведения компьютерных экспериментов для получения репрезентативных выборок обучающего, тестового и валидационного набора данных, необходимых для построения и оценки получаемых нейросетевых моделей ГТЭС.

Личный вклад соискателя состоит в получении исходных экспериментальных данных, их обработке, интерпретации и подготовке обучающих и тестовых выборок для построения искусственной нейронной сети и создания нейросетевых моделей ГТЭС, в анализе материалов, результатов проведенных экспериментов для подготовки основных публикаций по выполненной работе.


Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября

2013 г. № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09 декабря 2021 г. № 4334-В: в ней изложены и научно обоснованы решения по модернизации существующей системы автоматизации испытаний САУ ГТУ для ГТЭС на основе использования нейросетевых моделей ГТЭС, имеющие важное значение для сокращения времени испытаний и улучшения показателей качества настройки САУ ГТУ.


На заседании «14» октября 2022 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.14 принял решение присудить Килину Григорию Александровичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 6).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 15, против присуждения ученой степени – нет, не участвующих в голосовании – нет.

Председатель диссертационного совета
Д ПНИПУ.05.14,
д-р техн. наук, профессор

 / Южаков Александр Анатольевич /

Ученый секретарь диссертационного совета
Д ПНИПУ.05.14,
д-р техн. наук, доцент

 / Фрейман Владимир Исаакович /

«14» октября 2022 г.

М.П.

