

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 Никулина Вячеслава Сергеевича

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Диссертация «Управление вредными выбросами в малоэмиссионной камере сгорания газотурбинного двигателя на основе нейросетевых технологий» по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами принята к защите «16» апреля 2025 г. (протокол заседания № 5) 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. N 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. N 1792-р.

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

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Южаков Александр Анатольевич, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Официальные оппоненты:

1. Катасёв Алексей Сергеевич, доктор технических наук 05.13.18, профессор, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» кафедра систем информационной безопасности, профессор,
2. Гергет Ольга Михайловна, доктор технических наук 05.13.17, доцент, ФГБУН «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук», ведущий научный сотрудник, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)» (г. Санкт-Петербург). Отзыв ведущей организации утвержден Семеновым Александром Анатольевичем, д.т.н., профессором, проректором по научной и инновационной деятельности, заслушан на заседании кафедры «Системы автоматического управления» и подписан Доброскоком Никитой Александровичем, к.т.н., доцентом, и.о. зав. каф. «Системы автоматического управления».

По теме диссертации соискателем опубликовано **15** научных трудов, в том числе **7** статей в журналах из перечня ведущих рецензируемых научных изданий, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, из них **3** статьи – в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus; соискателем получено **1** свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Никулин, В. С. Виртуальный измеритель температуры камеры сгорания на базе нечеткой логики / В. С. Никулин, С. А. Сторожев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2023. – № 47. – С. 71-84. – DOI 10.15593/2224-9397/2023.3.04.
2. Адаптивный виртуальный измеритель вредных веществ в камере сгорания ГТД с применением нечеткой технологии / В. С. Никулин, С. А. Сторожев, Д. М. Абдуллин, Ю. Н. Хижняков // Труды МАИ. – 2021. – № 116. – С. 11. – DOI 10.34759/trd-2021-116-11.
3. Система автоматического управления расходом топлива камеры сгорания с изменяющимися условиями эксплуатации на базе виртуального измерителя оксидов азота / В. С. Никулин, С. А. Сторожев, Ю. Н. Хижняков, А. А. Южаков //

Мехатроника, автоматизация, управление. – 2024. – Т. 25, № 5. – С. 251-258. – DOI 10.17587/mau.25.251-258.

4. Nikulin, V.S. Gas Turbine Engine Combustion Chamber Pollutant Meter Using Neural Technology / V.S. Nikulin, Y.N. Khizhnyakov, S.A. Storozhev // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, Moscow, 26–28 января 2021 года. – Moscow, 2021. – P. 934-936. – DOI 10.1109/ElConRus51938.2021.9396475.

В данных работах соискатель представил основные результаты диссертационного исследования: провел анализ принципов управления выбросами оксидов азота в малоэмиссионной камере сгорания (МЭКС) газотурбинного двигателя, выявив ограничения существующих методов и необходимость разработки интеллектуальных средств измерения; разработал адаптивные виртуальные нейросетевые измерители температуры и концентрации оксидов азота, обеспечивающие высокую точность и быстродействие в условиях реального времени; предложил регулятор перераспределения топлива по коллекторам камеры сгорания, обеспечивающий устойчивость горения и снижение эмиссии за счет обратной связи по концентрации оксидов азота; внедрил результаты исследования в существующую САУ ГТД повышенной тяги.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная идея, обогащающая концепцию построения адаптивных систем автоматического управления на базе нейросетевого подхода, что позволяет повысить качество управления концентрацией выбросов оксидов азота малоэмиссионной КС ГТД;

предложен оригинальный подход к созданию адаптивных виртуальных измерителей температуры с использованием ANFIS-сети и концентрации оксидов азота на основе нейронной сети с учетом изменяющихся условий внешней среды в режиме реального времени и повышением точности измерений;

доказана практическая целесообразность использования нейросетевого подхода при построении адаптивных систем автоматического управления для обеспечения устойчивости и снижения эмиссии в условиях неопределенности и ограниченных ресурсов регулятора электронного двигателя (РЭД).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения о перспективности применения нейросетевого подхода для совершенствования метода синтеза САУ подачей топлива МЭКС авиационного ГТД, благодаря чему снижена концентрация эмиссии оксидов азота с сохранением газодинамической устойчивости горения;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс существующих базовых методов нейросетевых технологий, теории автоматического управления;

изложены положения, составляющие основу разработанного метода управления камерой сгорания ГТД, и получены доказательства эффективности использования нейросетевых адаптивных виртуальных измерителей оксидов азота и температуры, а также способа коррекции расхода топлива в коллекторах КС ГТД;

проведена модернизация существующих математических моделей и алгоритмов САУ подачей топлива в МЭКС газотурбинного двигателя за счет внедрения адаптивных нейросетевых и нечетких виртуальных измерителей; разработан усовершенствованный алгоритм коррекции подачи топлива, учитывающий условия реального времени и ограничения РЭД.

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

разработано и внедрено программное обеспечение, реализующее измерительно-управляющую часть в составе САУ подачей топлива в камеру сгорания ГТД повышенной тяги, что позволило обеспечить снижение выбросов NO_x с сохранением газодинамической устойчивости горения КС на испытательном стенде АО «ОДК-СТАР». Предложенный метод управления концентрацией выбросов оксидов азота с использованием адаптивных виртуальных измерителей температуры и эмиссии NO_x , на основе нечеткой логики, внедрён в учебный процесс ПНИПУ;

определены перспективы практического использования аппарата нейросетевого подхода в САУ малоэмиссионных камер сгорания ГТД;

создана система практических рекомендаций по использованию разработанного метода и алгоритмов измерения концентрации вредных веществ, учитывающих условия взлетно-посадочного цикла и динамику работы газотурбинного двигателя в составе САУ подачей топлива МЭКС;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию разработанных метода и алгоритмов с учетом сложных структур систем управления.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов исследования, полученных при внедрении в реальную САУ подачей топлива в камеру сгорания ГТД повышенной тяги;

теория построена на известных, проверяемых данных, фактах, в т. ч. согласуется с опубликованными экспериментальными исследованиями других авторов по теме диссертации;

идея базируется на анализе существующих моделей, методов и алгоритмов построения систем автоматического управления концентрацией выбросов оксидов азота с применением адаптивных виртуальных измерителей температуры камеры сгорания и эмиссии оксидов азота;

использованы результаты сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное совпадение авторских результатов моделирования выбросов оксидов азота с результатами экспериментальных исследований на полунатурном стенде перспективного ГТД повышенной тяги АО «ОДК-СТАР»;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации и применен пакет прикладных программ MATLAB Simulink.

Личный вклад соискателя состоит в анализе публикаций по теме исследования, разработке новых метода и модификации алгоритмов управления концентрацией выбросов на основе нейросетевых виртуальных измерителей, создании и адаптации структур измерителей температуры и эмиссии оксидов азота, а также внедрении результатов диссертационного исследования в существующую САУ ГТД повышенной тяги.

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 новые научно обоснованные технические решения по снижению концентрации выбросов

оксидов азота ГТД на основе применения нейросетевого подхода, имеющие важное значение для отечественного двигателестроения.

На заседании «20» июня 2025 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.14 принял решение присудить Никулину Вячеславу Сергеевичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 12).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 15, против присуждения ученой степени – нет, не участвовавших в голосовании – нет.

Председательствующий на заседании
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.14,

заместитель председателя диссертационного совета

д-р техн. наук, профессор

/ Шумихин Александр Георгиевич /

Ученый сек

Д ПНИПУ.

д-р техн. на

ого совета

/ Фрейман Владимир Исаакович /

«20» июня 2025г.

М.П.