

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Никулина Вячеслава Сергеевича
«Управление вредными выбросами в малоэмиссионной камере сгорания
газотурбинного двигателя на основе нейросетевых технологий»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

Актуальность темы

В современных условиях стремительного ужесточения экологических норм в авиационной отрасли задача снижения выбросов вредных веществ, в т.ч. оксидов азота, становится одной из приоритетных. Эффективное решение этой задачи требует разработки и использования интеллектуальных технологий, способных обеспечивать автоматизированный контроль значений параметров горения непосредственно в условиях реального полета, а не ограничиваться данными, полученными в стационарных испытательных режимах. В этой связи особую значимость приобретает необходимость прямых измерений концентрации оксидов азота на борту летательных аппаратов и разработка концептуально новых подходов к решению этой задачи.

В рамках диссертационного исследования рассматривается разработка методов и средств управления процессом горения в малоэмиссионной камере сгорания газотурбинного двигателя с использованием нейросетевых технологий. Впервые предложен оригинальный метод виртуального измерения эмиссии вредных веществ и температуры на основе адаптивных нейросетевых моделей, функционирующих в условиях реального времени. Данное решение позволяет не только компенсировать отсутствие физических датчиков, но и обеспечивает высокую точность оценки параметров горения без существенного увеличения вычислительной нагрузки на систему управления.

Таким образом, актуальность диссертационной работы Никулина В.С. определяется необходимостью создания интеллектуальных систем управления горением в камере сгорания в авиационных двигателях с применением адаптивных виртуальных измерителей, направленных на обеспечение экологической безопасности, повышение надежности эксплуатации и соответствие современным международным стандартам по выбросам вредных веществ.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа Никулина В.С. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 128 наименований и 7 приложений. Полный текст диссертации составляет 189 страниц, основная часть работы представлена на 175 страницах.

Во введении изложены основные проблемы снижения выбросов вредных веществ в авиационных газотурбинных двигателях, сформулированы актуальность исследования, цель и задачи работы, приведены предпосылки к использованию нейросетевых методов для оценки параметров процесса горения в условиях реального полета.

В первой главе представлен обзор существующих способов снижения выбросов оксидов азота, выделены их достоинства и недостатки, а также сформулированы требования к системе управления камерой сгорания. На основе выполненного обзора сформулированы задачи исследования.

Во второй главе автором разработаны оригинальные виртуальные измерители температуры камеры сгорания и эмиссии оксидов азота на основе нейросетевых технологий. Рассмотрены два подхода к построению нейронных сетей: использование классического персептрона и нейронечеткой модели типа ANFIS. На основании сравнительного анализа их свойств выбрана наиболее эффективная архитектура для применения в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Описан способ построения адаптивных виртуальных измерителей с возможностью корректировки значений параметров в процессе эксплуатации для повышения устойчивости системы к внешним возмущениям. Представлены методы перераспределения топлива между диффузионными и гомогенными коллекторами камеры сгорания на основе оценок состояния горения, что позволяет минимизировать выбросы оксидов азота и предотвращать переход в режимы срыва пламени или вибрационного горения. Выполнена предварительная верификация разработанных структур с использованием среды моделирования Matlab Simulink.

Третья глава посвящена моделированию разработанной системы управления с предложенными виртуальными преобразователями в среде Matlab Simulink при различных условиях эксплуатации: нормальных условиях, воздействии флуктуационных и импульсных помех, деградации исполнительных устройств и отказах измерительных каналов. В рамках моделирования выполнена оценка динамических характеристик системы управления. Показано, что при использовании предложенных алгоритмов среднее снижение выбросов оксидов азота составило 4,55% по сравнению с исходной системой автоматического управления расходом топлива в коллекторах камеры сгорания.

В четвертой главе описаны результаты экспериментальной верификации разработанных решений на стенде газотурбинного двигателя. Приведены данные о снижении эмиссии и повышении устойчивости работы камеры сгорания современного двигателя повышенной тяги.

В заключении диссертационного исследования представлены полученные автором основные результаты и выводы, которые полностью отражают основные научные и практические достижения работы.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

1. Разработан метод управления концентрацией выбросов оксидов азота в малоэмиссионной камере сгорания газотурбинного двигателя на основе оценки интегрального значения эмиссии за стандартный взлетно-посадочный цикл с учетом предотвращения перехода в критические режимы горения.

2. Предложены оригинальные способы построения виртуальных преобразователей для измерений температуры горения и эмиссии оксидов азота, реализованных на базе нейросетевых и нейронечетких моделей с адаптивной корректировкой структуры в процессе эксплуатации.

3. Разработан способ перераспределения подачи топлива между зонами камеры сгорания с использованием информации виртуальных адаптивных измерителей, позволяющий минимизировать концентрацию выбросов при сохранении эксплуатационных характеристик двигателя на допустимом уровне.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность и обоснованность результатов диссертации подтверждается результатами моделирования и внедрения в систему автоматизации испытаний авиационных агрегатов, а также внедрения в учебный процесс. Полученные автором результаты не противоречат известным из литературы данным. Основные положения работы прошли апробацию на научных конференциях российского и международного уровней, опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК (4 статьи), включая индексированные в международной базе Scopus (3 статьи). Опубликованные работы, в полной мере отражают содержание диссертации. Все это позволяет считать полученные результаты обоснованными и достоверными.

Автореферат в полной мере отражает основные положения, содержание и выводы диссертационного исследования.

Практическая значимость полученных автором результатов

Полученные научные и практические результаты нашли применение при разработке системы автоматического управления вредными выбросами в малоэмиссионной камере сгорания авиационного газотурбинного двигателя повышенной тяги. Реализация предложенных адаптивных виртуальных измерителей температуры и эмиссии оксидов азота, а также алгоритмов перераспределения топлива позволила добиться на стенде перспективного газотурбинного двигателя снижения выбросов оксидов азота в среднем до 3% в переходных режимах. Интегральная эмиссия оксидов азота по целевой функции уменьшена в среднем на 4%.

Разработанные методы успешно внедрены в полунатурную стендовую установку с применением программируемых контроллеров для испытаний перспективных авиационных двигателей. Элементы предложенной системы управления включены в лабораторные практикумы кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, что способствует развитию компетенций в области систем управления в реальном времени и интеллектуальных технологий у студентов инженерных направлений. Разработанные подходы могут быть использованы при проектировании экологически ориентированных авиационных и энергетических установок следующего поколения.

Замечания и рекомендации по диссертационной работе

1. С точки зрения норм русского языка термин «нейронечеткий» (как и «нейросетевой») пишется без дефиса, а, например, термин «нейронно-нечеткий» – с дефисом.
 2. Цель диссертационной работы сформулирована не совсем удачно, так как ее формулировка пересекается с формулировкой 2-й задачи. Получается, что решение этой задачи позволяет достигнуть цели исследования. С точки зрения формулировки целью является лишь разработка метода управления концентрацией выбросов, хотя в работе кроме этого метода предложено также 2 способа для решения дополнительных задач. В качестве цели целесообразно было бы использовать такую формулировку как «Повышение эффективности управления вредными выбросами...», тем более, что в диссертации показаны результаты, свидетельствующие о повышении эффективности решения поставленной научной задачи по сравнению в другими известными решениями.
 3. Недостаточно аргументирован выбор метода Левенберга-Маквардта для обучения нейронной сети. Целесообразно было бы рассмотреть и другие известные методы.
 4. На рисунке 2.18 диссертации представлена структурная схема функционирования нечеткого измерителя температуры базе ANFIS-сети. В данной схеме выделен блок дефаззификации, что не соответствует логике работы этой сети. В ANFIS-сетях, как и в модели логического вывода Сугено, блок дефаззификации не используется, так как такие модели сразу формируют четкий выходной результат без необходимости выполнения дефаззификации. Поэтому на схеме правильнее было бы указать не «Дефаззификатор», а, например, «Блок вывода». Этот же термин и далее неверно используется по тексту диссертации.
 5. В диссертации при построении модели ANFIS не приводится обоснование выбора форм функций принадлежности и числа нечетких градаций. Использование треугольных функций и только трех градаций не всегда приводит к желаемому результату.
 6. В тексте диссертации имеются недочеты в орфографии и стилистике.
- Указанные замечания не снижают теоретической и практической значимости результатов диссертационного исследования, носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертация Никулина Вячеслава Сергеевича «Управление вредными выбросами в малоэмиссионной камере сгорания газотурбинного двигателя на основе нейросетевых технологий» посвящена решению актуальной научно-технической задачи создания методов повышения экологической эффективности авиационных газотурбинных установок. В исследовании предложены новые принципы построения систем управления процессами горения на основе виртуальных нейросетевых измерителей и алгоритмов корректировки топливоподачи, ориентированных на обеспечение стабильности рабочего процесса и минимизацию выбросов в условиях переменных эксплуатационных воздействий.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном и техническом уровне с использованием современных инструментальных средств и методик, а основные выводы достаточно обоснованы и подтверждены результатами внедрения. Работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а также требованиям «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ», предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученых степеней, а ее автор Никулин Вячеслав Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Официальный оппонент:

профессор кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», д.т.н., профессор

Катасёв Алексей Сергеевич

«22» мая 2025 г.

Докторская диссертация защищена по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Почтовый адрес: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10

Телефон: +7 (927) 408-94-68

E-mail: ASKatasev@kai.ru

Подпись
заверяю
делопро