

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.11
по диссертации Нугуманова Алексея Дамировича
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Диссертация: «Методика экспериментальной доводки низкочастотных камер сгорания газотурбинных установок по экологическим нормам»

по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов;

принята к защите «08» апреля 2022 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.11, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «11» января 2021 г. № 1-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 в отделении камер сгорания АО «ОДК-Авиадвигатель»

Научный руководитель – Сипатов Алексей Матвеевич, доктор технических наук, профессор кафедры Авиационные двигатели, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», начальник отделения камер сгорания АО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь).

Официальные оппоненты:

Мингазов Биал Галавтдинович, заслуженный деятель науки Республики Татарстан, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ», кафедра реактивных двигателей и энергетических установок, профессор (г. Казань).

Гомзиков Леонид Юльевич, начальник сектора С1 отдела ТПМ, ООО «Саровский инженерный центр», кандидат технических наук (г. Саров).

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» (г. Рыбинск).

отзыв ведущей организации утвержден 24.05.2022г. ректором, Кошкиным Владимиром Ивановичем, доктором физико-математических наук, профессором, заслушан на заседании кафедры «Общая и техническая физика» 13.05.2022г. (протокол № 11) и подписан Гурьяновым Александром Игоревичем, доктором технических наук, деканом факультета авиадвигателестроения.

Отмечено, что диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Нугуманов Алексей Дамирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается областью их компетентности и научной деятельностью, связанной с исследованиями процессов, протекающих в камерах сгорания газотурбинных двигателей.

На автореферат и диссертацию поступило 9 отзывов. Все полученные отзывы положительные, а указанные недостатки не являются определяющими, частично носят дискуссионный характер и в целом не снижают высокой оценки работы. Во всех отзывах отмечено, что диссертационная работа является полным, законченным исследованием, соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Нугуманов А.Д. заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

По теме диссертации соискателем опубликовано одиннадцать научных трудов, из них шесть в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, из них две работы – в изданиях,

индексируемых в международных базах цитирования (Web of Science, Scopus, Chemical Abstract и т.д.), соискателем получен один патент на изобретения.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Нугуманов, А.Д. Использование мирового опыта регулирования газотурбинных двигателей (ГТД) с малоэмиссионной камерой сгорания (МЭКС) по режимам мощности и в климатическом диапазоне при создании МЭКС для ГТД разработки АО «ОДК Авиадвигатель» / А.Д. Нугуманов, А.М. Сипатов, В.А. Назукин // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2017. – №50. – С. 139-147. **(ВАК)**

В статье соискателем представлен обзор существующих малоэмиссионных камер сгорания ГТУ и способов их регулирования.

2. Сипатов, А.М. Численная доводка полей температуры газов на выходе из камеры сгорания газотурбинной установки. / А.М. Сипатов, К.А. Шилов, А.Д. Нугуманов, Т.В. Абрамчук. // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2016. – № 46. – С. 40-55. **(ВАК)**

В статье соискателем показана подготовка экспериментального исследования, обработка и анализ результатов неравномерности поля температуры на выходе из камеры сгорания.

3. Августинovich, В.Г. Концепция управления малоэмиссионной камерой сгорания авиационного ГТД и ее эксперт-модель для обучения нейронной сети смарт-регулятора. / Августинovich В.Г., Кузнецова Т.А., Фатыков А.И., Нугуманов А.Д. // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2018. – № 53. – С. 5-19. **(ВАК)**

В статье соискателем рассмотрена выборка обработанных результатов испытаний МЭКС в составе модельного отсека для обучения нейронной сети с целью обеспечения управления КС в малоэмиссионном устойчивом диапазоне работы.

4. Булысова, Л.А. Обеспечение малоэмиссионной работы камеры сгорания в широком диапазоне климатических условий применительно к авиа-производным ГТУ. / Булысова Л.А., Тумановский А.Г., Гутник М.Н., Васильев В.Д., Сипатов А.М., Нугуманов А.Д. // Электрические станции. – 2019. – №12. – С. 20-23. Переводная версия: Bulysova, L.A. LOW-EMISSION OPERATION OF AERODERIVATIVE GAS-TURBINE COMBUSTOR OVER A WIDE RANGE OF AMBIENT CONDITIONS. / L. A. Bulysova, A. G. Tumanovskii, M. N. Gutnik, V. D. Vasil'ev, A. M. Sipatov, A. D. Nugumanov. // Power Technology and Engineering. – 2020. – Vol. 54, No. 1, – P. 93-95. **(ВАК, Scopus)**

В статье соискателем показана отработка методики экспериментальной проверки и доводки основных характеристик МЭКС.

5. Булысова, Л.А. Результаты испытаний МЭКС ГТ-16 в одnogорелочном отсеке на стенде полных параметров. / Булысова Л.А., Тумановский А.Г., Гутник М.Н., Васильев В.Д., Сипатов А.М., Нугуманов А.Д. // Электрические станции. – 2020. – №7. – С. 2-5. **(ВАК)**

В статье соискателем показан анализ результатов испытаний МЭКС в рамках формирования методических указаний по экспериментальной проверке и доводке основных характеристик.

6. Августинович, В.Г. Разработка нейронных систем мониторинга и управления эмиссией вредных веществ для газотурбинных газоперекачивающих агрегатов и электростанций. / Августинович В.Г., Кузнецова Т.А., Нугуманов А.Д. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – №8. – Т.330. – С. 7-17. Имеет переводную версию: **(ВАК, Scopus, GeoRef, Web of Science)**

В статье соискателем рассмотрено применение нейронных систем для мониторинга и управления эмиссией вредных веществ в выхлопных газах на основании основных параметров рабочего процесса ГТД с МЭКС.

7. Способ регулирования подачи топлива в газотурбинный двигатель: пат. 2665602 Рос. Федерация: МПК51 F02С9/26(2006.01) / А.П. Пеков, Н.А. Андрюков, А.Д. Нугуманов; заявитель и патентообладатель АО «ОДК-Авиадвигатель» (RU). – № 2017142880; заявл. 07.12.2017; опубл. 31.08.2018

В патенте соискателем описан способ подачи топливного газа в камеру сгорания влияющего на экологические характеристики горения топливовоздушной смеси.

Научные труды в прочих изданиях:

8. Нугуманов, А.Д. Разработка малоэмиссионной камеры сгорания с многомодульным фронтальным устройством для ГТУ мощностью 25 МВт. / А.Д. Нугуманов, А.М. Сипатов, В.В. Цатиашвили, И.У. Фагалов, Т.В. Абрамчук, В.А. Назукин. // Современные технологии в энергетике к 130-летию со Дня рождения Л.К. Рамзина: тезисы докладов всероссийской специализированной научно-практической конференции молодых специалистов (г. Москва, АО 30–31 марта 2017 г.). Москва: Изд-во ВТИ. – 2017.

9. Нугуманов, А.Д. Методика экспериментальной доводки малоэмиссионных камер сгорания для ГТУ мощностью 16 и 25 МВт. / А.Д. Нугуманов, А.М. Сипатов // Фундаментальные проблемы применения современных ГТУ в отечественной экономике - результаты освоения и эксплуатации и задачи на будущее: тезисы докладов LXIV научно-технической сессии РАН. (г. Казань, 12-15 сентября 2017г.). Казань: Изд-во КГЭУ. – 2017.

10. Ведешкин, Г.К. Основные результаты испытаний малоэмиссионной камеры сгорания в составе газогенератора ГТУ-16. / Г.К. Ведешкин, Е.Д. Свердлов, А.Н. Дубовицкий, А.О. Коскин, А.М. Сипатов,

В.В. Цатиашвили, А.Д. Нугуманов // Исследование, разработка и реализация научных достижений в области газовых турбин в российской экономике: тезисы докладов LXV научно-технической сессии РАН в области газовых турбин. (г. Санкт-Петербург, 18-19 сентября 2018г.) Санкт-Петербург: Изд-во Невский завод. – 2018.

11. Нугуманов, А.Д. Промежуточные итоги создания и испытаний малоэмиссионной камеры сгорания для ГТД мощностью 25МВт. / А.Д. Нугуманов, А.М. Сипатов, В.В. Цатиашвили, Т.В. Абрамчук, И.У. Фагалов // Научно-технические проблемы проектирования, локализации производства и эксплуатации ГТУ в экономике РФ: тезисы докладов LXVI научно-технической сессии РАН по проблемам газовых турбин и парогазовых установок. (г. Пермь, 24-25 сентября 2019г.) Пермь: Изд-во АО «ОДК-Авиадвигатель. – 2019.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая методика экспериментальной доводки низкоперепадных малоэмиссионных камер сгорания ГТД на основе интеграции основных характеристик, требующих тонкой расчетно-экспериментальной настройки при использовании технологии сжигания бедных предварительно подготовленных топливовоздушных смесей;

предложены оригинальные решения, позволившие в эксперименте получить широкий малоэмиссионный диапазон устойчивой работы КС, отсутствие проскока пламени, а так же минимизировать потери полного давления на смесителе в процессе определения конструктивного облика горелки.

доказана перспективность применения разработанной методики в процессе проектирования и расчетно-экспериментальной доводки малоэмиссионных камер сгорания ГТД, поскольку ее использование позволило выполнить доводку конструкции, которая подтвердила низкую эмиссию вредных веществ и работоспособность в широком климатическом и мощностном диапазоне нагрузок при испытаниях в составе отсека, газогенератора, и двигателя в составе ГПА в эксплуатации.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изучены ключевые проблемы, сопровождающие разработку и расчетно-экспериментальную доводку малоэмиссионных камер сгорания ГТД, а также способы решения данных проблем в мировой практике;

раскрыты проблемы прогнозирования и получения основных характеристик малоэмиссионного горения на этапе экспериментальной доводки в составе одnogорелочного отсека;

изложены основные этапы методики экспериментальной доводки малоэмиссионных камер сгорания бедного типа, позволяющие достичь целевых параметров;

выполнена интеграция основных характеристик малоэмиссионного горения, которые в совокупности обеспечивают достижение широкого диапазона

устойчивой работы малоэмиссионной камеры сгорания, работающей по принципу сжигания бедных предварительно подготовленных топливовоздушных смесей, что применительно к проблематике диссертации позволяет эффективно, применять полученный результат, что в свою очередь сократит сроки доводки и количество экспериментальных исследований по этой теме в будущем.

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

разработана и внедрена методика экспериментальной доводки малоэмиссионных камер сгорания, построенный на основе исследования основных характеристик малоэмиссионного горения (ширины малоэмиссионного диапазона, пульсаций давления, проскока пламени) и определении критериев их взаимодействия. Разработанная методика используется при создании новых и модернизации существующих ГТД по экологическим характеристикам в кластере предприятий АО «ОДК», что позволяет снизить временные и финансовые затраты на разработку более чем в 3 раза;

определены пределы возможного малоэмиссионного диапазона, ограниченного с одной стороны экспоненциальным ростом окислов азота (NO_x) с другой ростом монооксид углерода (CO) и практически реализуемого, с учетом неизбежно возникающих, повышенных неравномерностей распределения концентраций топливоздушной смеси реальной конструкции при испытаниях в составе одnogорелочного отсека и двигателя;

создана классификация на основе экспериментальных данных тонов виброгорения (холодный, горячий, случайный), а также система практических рекомендаций по расположению достигнутого малоэмиссионного диапазона внутри диапазона устойчивой работы КС бедного типа с мероприятиями воздействия на каждый тон пульсаций давления;

представлены рекомендации по снижению потерь полного давления на 2 % относительно имеющихся аналогов на смесительном устройстве за счет применения стабилизации пламени за плохообтекаемым телом, при этом реализуются условия сохранения необходимой скорости потока топливоздушной смеси для невозможности реализации проскока и стабилизации пламени в фронтном устройстве;

выполнена экспериментальная доводка конструкции малоэмиссионной камеры сгорания для промышленного ГТД мощностью 16 МВт, которая при межведомственных испытаниях в составе двигателя подтвердила эмиссию $\text{NO}_x \leq 50 \text{ мг/м}^3$ и $\text{CO} \leq 100 \text{ мг/м}^3$ в диапазоне режимов работы 70...100 % от номинальной мощности. Результаты подтверждены заключением ведущего института в области газового хозяйства ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты были получены на современном стенде, обеспечивающем полные параметры рабочего процесса в КС при испытаниях в составе одногорелочного отсека, использовано современное, высокоточное, метрологически аттестованное и поверенное измерительное оборудование;

для численного моделирования использован сертифицированный коммерческий программный комплекс ANSYS CFX, апробированный в АО «ОДК-Авиадвигатель» по результатам сравнения результатов расчётов с результатами экспериментальных исследований;

теория построена на известных законах и моделях газовой динамики, и базируется на обобщении передового опыта;

использованы современные методики сбора и обработки исходных результатов экспериментов и выполнения численных расчётов;

установлено что результаты численного моделирования коррелируют с результатами экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в:

выполнении литературного обзора современного состояния работ по созданию малоэмиссионных камер сгорания наземных газотурбинных установок;

участии в постановке и проведении экспериментальных исследований КС в составе одногорелочного отсека с целью определения основных закономерностей;

обработке экспериментальных данных, сопоставлением их с расчетными исследованиями;

разработке рекомендаций по изменению конструкции КС с целью обеспечения экологических, акустических и других основных характеристик;

личном формировании методики экспериментальной доводки МЭКС ГТУ в составе одногорелочного отсека.

Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично или при его определяющем личном участии.

Полученные теоретические и практические результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в опытно-конструкторских бюро предприятий газотурбинного двигателестроения, входящих в АО «ОДК», и научно-исследовательских центрах, занимающихся проблемами организации рабочего процесса в камерах сгорания газотурбинных двигателей.

В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылок на авторов и (или) источник заимствования, а также результаты научных работ, выполненных соискателем учёной степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

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 работе содержится решение актуальной научной задачи по разработке методики доводки экологически чистых камер сгорания газотурбинных двигателей, обеспечению беспульсационной работы и отсутствию проскока пламени в процессе создания и экспериментальной доводки в составе одногорелочного отсека и двигателя. При этом показана зависимость, позволяющая получить приемлемый уровень потерь полного давления на устройстве подготовки топливоздушнoй смеси, что в свою очередь сохранит КПД ГТД на высоком уровне.

На заседании «10» июня 2022 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.11 принял решение присудить Нугуманову Алексею Дамировичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 3 от 10 июня 2022 г.).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 15, против присуждения ученой степени 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.05.11,

доктор технических наук,
профессор

Модорский Владимир Яковлевич

Ученый секретарь диссертационного совета Д ПНИПУ.05.11,

доктор технических наук,
профессор

Нихамкин Михаил Шмерович

« 14 » июня 2022 г. м.п.