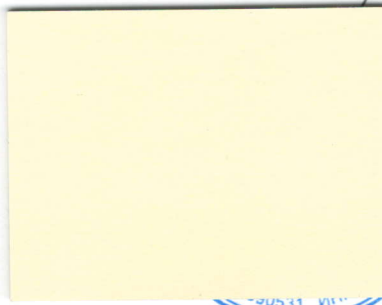


УТВЕРЖДАЮ:

Управляющий директор
ОДК-Авиадвигатель»,
Ин-корр. РАН, д.т.н.



А.А. Иноземцев

18.06.2021

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

акционерного общества «ОДК-Авиадвигатель»

Диссертация «Методика экспериментальной доводки низкоперепадных камер сгорания газотурбинных установок по экологическим нормам», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, выполнена Нугумановым Алексеем Дамировичем в отделе камер сгорания АО «ОДК-Авиадвигатель».

Нугуманов Алексей Дамирович 1987 года рождения в 2009 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет» по направлению 160300 «Двигатели летательных аппаратов», специальности 160301.65 «Авиационные двигатели и энергетические установки» с присуждением квалификации инженер. В 2020 году окончил очную аспирантуру по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов ФГБОУ ВО Пермского национального исследовательского политехнического университета (срок обучения 01.10.2016 – 01.10.2020). В период подготовки диссертации с 2008 г. по настоящее время работает в отделении камер сгорания АО «ОДК-Авиадвигатель» в должности заместителя начальника отдела экспериментальных работ по камерам сгорания.

Научный руководитель – Сипатов Алексей Матвеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Авиационные двигатели» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», работает в должности начальника отделения камер сгорания газотурбинных двигателей АО «ОДК-Авиадвигатель».

По результатам рассмотрения диссертации Нугуманова А.Д. на тему «Методика экспериментальной доводки низкоперепадных камер сгорания газотурбинных установок по экологическим нормам», представленной на

соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, на заседании НТС АО «ОДК-Авиадвигатель», протокол №ПР-0583-2021 от 16.06.2021 г., принято следующее заключение.

1. **Личное участие автора** в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- проведен литературный обзор современного состояния работ по созданию малоэмиссионных камер сгорания (МЭКС) наземных газотурбинных установок;

- определена постановка и проведен комплекс экспериментальных исследований в составе одnogорелочного отсека МЭКС для газотурбинной установки мощностью 16 МВт работающей по принципу сжигания бедных, предварительно подготовленных топливовоздушных смесей;

- выполнена обработка экспериментальных данных и обобщение их в методику экспериментальной доводки камер сгорания по экологическим характеристикам, которая представлена в виде специализированных рекомендаций собственной разработки по исследованию и представлению малоэмиссионного диапазона, акустических характеристик и исследованию отсутствия проскока пламени;

- сформирована авторская методика экспериментальной доводки МЭКС;

- выполнена доводка конструкции МЭКС для газотурбинной установки мощностью 16 МВт по обеспечению широкого устойчивого диапазона работы.

2. В рамках диссертационной работы получены результаты, обладающие **научной новизной**:

- создана авторская методика, объединяющая в себе основные характеристики процесса сухого малоэмиссионного горения, которая позволяет усовершенствовать процессы проектирования и экспериментальной доводки КС экологически чистых ГТД.

- разработана система требований к конструктивной схеме МЭКС, необходимых для обеспечения широкого малоэмиссионного диапазона устойчивой работы по температуре в зоне горения более 150 градусов, а также устойчивости к проскоку пламени в условиях широкого диапазона эксплуатационных нагрузок.

- разработаны критерии, позволяющие снизить потери полного давления в МЭКС.

3. **Достоверность** полученных результатов и выводов, изложенных в диссертации, обеспечивается системным подходом к процессу создания

методик доводки КС, хорошим совпадением результатов численного моделирования и результатов испытаний натурального объекта. Создание методики выполнялось при экспериментальной доводке прототипа малоэмиссионной камеры сгорания газотурбинной установки мощностью 16 МВт, разработанной в АО «ОДК-Авиадвигатель». Основные положения подтверждались проведением экспериментальных исследований на современном стенде обеспечивающим в модельном одnogорелочном отсеке (1/12 часть КС) полные параметры процесса в КС (температуру, давление, расходы воздуха и топливного газа). Использованием высокоточного измерительного оборудования.

4. Теоретическая значимость работы заключается в определении перечня экспериментальных исследований в составе одnogорелочного отсека и объединении основных характеристик процесса сухого малоэмиссионного горения в авторскую методику, которая позволяет выполнить экспериментальную доводку низкоперепадных бедных МЭКС.

5. Практическая значимость работы заключается в использовании разработанных в результате исследований методик при создании новых и усовершенствовании существующих конструкций КС по экологическим нормам для любых газотурбинных установок, что позволит значительно сократить время их создания, стоимость и эксплуатационные риски.

На основании методики выполнена доводка конструкции МЭКС ГТУ мощностью 16 МВт, позволившая обеспечить уровень эмиссии $\text{NO}_x < 50 \text{ мг/м}^3$ и $\text{CO} < 100 \text{ мг/м}^3$ в широком диапазоне устойчивой работы при относительно низком уровне потерь полного давления и высоком КПД.

6. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 11 работах, из них 6 работ опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для публикации основных результатов диссертационных исследований, в том числе 2 статьи в изданиях, индексируемых в базе Web of Science, получен 1 патент.

Опубликованные работы достаточно полно отражают содержащиеся в диссертации научные результаты, а также основные аспекты их практического применения.

Наиболее значимые работы:

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. Августинович, В.Г. Концепция управления малоэмиссионной камерой сгорания авиационного ГТД и ее эксперт-модель для обучения нейронной сети смарт-регулятора. / Августинович 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 авиапроизводным 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 показана 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. **(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 F02C9/26(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.

6. Апробация работы проводилась на 8 конференциях:

Основные результаты работы представлены на Всероссийской научно-технической конференции «Авиадвигатели XXI века». – (г. Москва, 2015 г.); Международный форум двигателестроения. Научно-технический конгресс по двигателестроению. НТКД-2016. (г. Москва 2016 г.); Всероссийская специализированная научно-практическая конференция молодых специалистов «Современные технологии в энергетике». ОАО «ВТИ». (г. Москва, 2017 г.); X Международная научно-техническая конференция «Процессы горения, теплообмена и экологии тепловых двигателей». СГАУ (г. Самара, 2017 г.), LXIV научно-техническая сессия по проблемам газовых турбин «Фундаментальные проблемы применения современных ГТУ в отечественной экономике - результаты освоения и эксплуатации и задачи на будущее» (г. Казань, 2017 г.) LXV научно-техническая сессия по проблемам газовых турбин «Исследование, разработка и реализация научных достижений в области газовых турбин в российской экономике». (г. Санкт-Петербург, 2018 г.) LXVI научно-техническая сессия РАН по проблемам газовых турбин и парогазовых установок «Научно-технические проблемы проектирования, локализации производства и эксплуатации ГТУ в экономике РФ» (г. Пермь, 2019 г.); LXVII научно-техническая сессия по проблемам газовых турбин «Научно-технические проблемы широкого применения газотурбинных и парогазовых установок в электроэнергетике РФ». АО «Силовые машины». (г. Санкт-Петербург, 2020 г.).

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.07.05 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов, а именно: п.1 Теория и рабочий процесс тепловых и электроракетных двигателей летательных аппаратов, а также энергетических установок, узлов и систем, включая элементы силовой установки, сопряженные с двигателем.

Оптимизация схем и параметров двигателей. п. 13 – Математическое моделирование рабочих процессов, характеристик, динамических процессов, рабочих состояний двигателей и энергетических установок, методы их проектирования и конструирования применительно к системам автоматизированного проектирования. Математическое моделирование стадий и этапов жизненного цикла (создания, производства и эксплуатации двигателей и установок); п. 16 – Методы расчётов воздействия тепловых и электроракетных двигателей на окружающую среду и анализ путей его уменьшения; п. 18 – Процессы создания и доводки двигателей летательных аппаратов. Способы улучшения характеристик и основных данных двигателей, находящихся в серийном производстве и эксплуатации.

Диссертационная работа является завершённой.

Тема диссертационной работы признана актуальной. Актуальность определена необходимостью разработки малоэмиссионных камер сгорания (МЭКС) для газотурбинных установок (ГТУ), в процессе доводки которых необходимо выполнять экспериментальную проверку и доводку, с высокой точностью определить устойчивый малоэмиссионный диапазон работы, как ключевой фактор любой камеры сгорания, работающей по принципу сжигания предварительно подготовленных, бедных топливо - воздушных смесей. Представленная диссертационная работа направлена на разработку экспериментальных методик, позволяющих подтверждать и выполнять доводку основных характеристик, а именно, малоэмиссионный диапазон работы, акустические характеристики, отсутствие проскока пламени и другие. Особое внимание уделено МЭКС с относительно низким перепадом на фронтальном устройстве, которые значительно сложнее в доводке, однако позволяют снизить потери полного давления на узле камеры сгорания и тем самым улучшить термодинамические характеристики двигателя в целом.

Членами научно-технического совета АО «ОДК-Авиадвигатель» сделан вывод о том, что диссертационная работа Нугуманова Алексея Дамировича соответствует требованиям, установленным в п. 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013г., представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение проблемы экспериментальной доводки основных характеристик малоэмиссионных камер сгорания бедного типа для газотурбинных двигателей.

Диссертацию «Методика экспериментальной доводки низкоперепадных камер сгорания газотурбинных установок по экологическим нормам» Нугуманова Алексея Дамировича рекомендуется представить к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Заключение принято на заседании научно – технического совета АО «ОДК-Авиадвигатель».

Присутствовало на заседании 55 чел. Результаты голосования:

«за» - 55 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № ПР-0583-2021 от 16.06.2021 г.

Ученый секретарь НТС, к.т.н

Саженок Алексей Николаевич

Заместитель начальника отделения газотурбинных установок и объектов их применения, отд. 602, к.т.н

Полянин Андрей Леонидович

Начальник отделения систем автоматического управления. отд. 210, к.т.н

Лисовин Игорь Георгиевич