

24.05.2022 № 0812/1790

Кому: Председателю диссертационного совета Д ПНИПУ.05.11
на базе федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»
д.т.н. Модорскому Владимиру Яковлевичу

Куда: 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский
проспект, д 29.

УТВЕРЖДАЮ
Ректор
доктор физико-математических наук, профессор
В.И. Кошкин



24 мая 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» на диссертационную работу Нугуманова А.Д. по теме «Методика экспериментальной доводки низкоперепадных камер сгорания газотурбинных установок по экологическим нормам», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Актуальность темы

Ужесточение международных требований по ограничению выбросов вредных веществ, при сжигании углеводородных топлив, и увеличение штрафных санкций за эти выбросы привели к необходимости использования новых малоэмиссионных технологий сжигания топлив в камерах сгорания. За рубежом переход на новые малоэмиссионные технологии сжигания топлив позволил снизить, по сравнению с диффузионной технологией, уровни выбросов оксидов азота в новых типах камер сгорания газотурбинных установок (ГТУ) и газоперекачивающих агрегатов (ГПА) почти на порядок до значений 15-25ppm. Важно обладать данной технологией для сохранения экологии и здоровья человека в будущем при создании новой перспективной газотурбинной техники.

Исследования ведущих зарубежных университетов и фирм, проводимые уже более 40 лет, показали, что переход на новую малоэмиссионную технологию сжигания топлива потребовал пересмотра почти всех основных составляющих элементов рабочего процесса: схемы смешения топлива с воздухом, системы регулирования режимов работы камеры и ГТУ в целом, системы охлаждения стенок жаровой трубы и др. При этом в малоэмиссионных камерах сгорания (МЭКС) с горением заранее перемешанной бедной топливовоздушной смеси часто возникают режимы виброгорения, разрушающие элементы камер сгорания, а также проходят

проскоки пламени в смесители горелок, приводящие к перегреву и выгоранию корпусов горелок.

Все перечисленное потребовало при создании МЭКС реализацию новых научных и технических решений.

Отечественная наука и промышленность подключилась к разработке новых малоэмиссионных технологий значительно позднее зарубежных фирм при отсутствии должного финансирования, что и привело к существенному отставанию в создании экологически чистых ГТУ.

Диссертационная работа Нугуманова А.Д. несомненно является актуальной и значимой в связи с тем, что она направлена на улучшение экологических характеристик и позволит в дальнейшем значительно ускорить процесс создания новых экологически чистых камер сгорания для перспективных ГТД с низким уровнем потерь полного давления, а значит сохранить высокий КПД двигателя в целом.

В своей работе соискатель ставит и успешно решает задачу по достижению широкого малоэмиссионного диапазона устойчивой работы (без пульсаций давления) малоэмиссионной камеры сгорания высоко параметрического ГТД мощностью 16 МВт.

Новизна работы

Создание авторской методики проектирования и экспериментальной доводки МЭКС, объединяющей в себе основные характеристики малоэмиссионного горения в условиях широкого климатического и мощностного диапазона эксплуатационных нагрузок с обеспечением низких потерь на фронтном устройстве.

Практическая значимость работы

Представленная методика позволит значительно, как минимум в два раза сократить трудоемкость, сроки и средства при создании экологически чистых КС перспективных ГТУ в процессе создания и экспериментальной проверки, и доводки основных характеристик в составе модельного отсека.

Содержание работы. Соответствие автореферата диссертационной работе

Диссертационная работа состоит из четырёх глав, основной текст изложен на 132 страницах.

Во введении показана важность проведения исследований в целях улучшения экологических характеристик газотурбинных двигателей для снижения выбросов загрязняющих атмосферу веществ.

В первой главе содержится литературный обзор существующих малоэмиссионных технологий сжигания топливного газа, а также аналитический обзор конструкций МЭКС промышленных ГТД мировых производителей.

В ряду разработанных малоэмиссионных технологий – технология сжигания бедных заранее перемешанных топливовоздушных смесей Lean Premixed (LP), считается на сегодня самой успешной для камер сгорания ГТУ.

Для обеспечения малоэмиссионного режима работы КС в промышленных ГТД ведущих мировых производителей, в той или иной степени используют:

- многоколлекторную схему подвода топлива для управления полем концентраций топлива в зоне горения;
- поддержание температуры горения ТВС в узко заданном диапазоне за счет регулирования расхода воздуха в КС посредством перепуска воздуха на вход в двигатель/атмосферу или/и за счет поворотных ВНА;
- управление расходом воздуха во фронтное устройство;
- систему контроля и ухода от пульсаций в камере сгорания.

Что достаточно полно описывает мировой опыт по данной проблематике.

Во второй главе показана методика определения ширины малоэмиссионного диапазона работы камеры сгорания, ограничением которого является характеристика изменения оксидов азота и монооксида углерода от температуры в первичной зоне для обеспечения экологических норм. Показана теоретически возможная и реально достигнутая ширина малоэмиссионного

диапазона, как зависимость эмиссии NOx и CO от температуры в первичной зоне на рисунке 2.14.

Так же, отмечен интересный опыт по переходу с модельной установки на полноразмерный двигатель по учёту фактического запаса значения уровней оксидов азота при испытаниях камеры сгорания в составе газогенератора на 10–15 мг/м³ выше уровня, полученного при испытаниях в составе модельной установки на одинаковых режимах.

В третьей главе определены шаги внедрения малоэмиссионного диапазона работы в область устойчивой работы (без пульсаций давления) при экспериментальной доводке в составе модельного отсека. Получено, что при сжигании бедной топливоздушной смеси на границах устойчивости процесса горения проявляются горячие, холодные и случайные тона пульсаций давления. В ходе работы определены шаги максимально влияющие на пульсации давления в существующей конструкции МЭКС, что позволило обеспечить работоспособность конструкции, а именно горячие тона вынесены за рабочий малоэмиссионный диапазон и исключены случайные высокочастотные тона за счёт внедрения отверстий гасителей на жаровой трубе.

Полученные результаты эксперимента близко соответствуют численному моделированию. При экспериментальных исследованиях пульсации давления проявились на частотах 320–360 Гц, которые являются продольной модой колебаний.

В четвертой главе определен ряд требований к конструкции, которые закладываются при проектировании и подтверждаются численным моделированием. Чаще всего проскок пламени проходит вблизи стенок по пограничному слою, после чего стабилизируется во фронтальном устройстве; фактором, усиливающим возможность проскока, является виброгорение. Поэтому при формировании эпюры концентраций топливоздушных смесей необходимо стараться обеспечивать негорючие бедные концентрации топлива вдоль стенок каналов, отсутствие отрывных зон, образующихся как от крутки потока, так и от наличия плохо обтекаемых тел, уступов и прочих элементов, а в самом канале получить скорости потока, гарантированно обеспечивающие невозможность прохождения горения в смесительное устройство.

Показаны экспериментальные шаги по стендовой проверке отсутствия проскока пламени с помощью специального воспламенителя, установленного в зоне смешения топливоздушной смеси, с помощью которого воспламеняется смесь в премиксере и контролируется выдувание пламени с дальнейшей стабилизацией режима работы КС.

Мнение о работе в целом

Диссертант ставит и успешно решает задачу объединения основных характеристик малоэмиссионного горения, что обеспечивает снижение уровня эмиссии в МЭКС до современного уровня по NOx менее 25 ppm в широком климатическом и мощностном диапазоне использования ГТУ, что является безусловно сложной задачей для мировой науки и промышленности.

Работа является обобщением результатов комплексных и системных экспериментальных и расчетных исследований в области малоэмиссионного горения, проведенных в АО «ОДК-Авиадвигатель» за последние 10 лет при непосредственном участии автора.

В работе представлены результаты исследований по всем основным характеристикам рабочего процесса в МЭКС: рассмотрены вопросы ширины возможного малоэмиссионного диапазона, проблемы проскока пламени в смесительное устройство, исследованы различные варианты конструкций КС, влияющих на стабилизацию процесса горения.

Реализация, обобщение и формирование предложенной авторской методики экспериментальной доводки характеристик малоэмиссионного горения осуществлялось при создании КС для ГТУ мощностью 16 МВт, качество которой

подтверждается реальной наработкой и признания экологических характеристик двигателя ведущим российским институтом ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Достоверность полученных результатов подтверждается сходимостью результатов расчётных и экспериментальных исследований, а также применением различных экспериментальных методов измерения эмиссионных характеристик и других параметров.

Расчётные исследования базируются на использовании современного апробированного в промышленности коммерческого программного продукта ANSYS Fluent/CFX, верифицированного по результатам испытаний в АО «ОДК-Авиадвигатель».

Экспериментальная база АО «ОДК-Авиадвигатель» позволяет проводить экспериментальные исследования на полных параметрах рабочего процесса, а также применять современные, поверенные средства измерения.

Результаты диссертационной работы используются на предприятиях АО «ОДК» для создания перспективных «сухих, бедных» экологически чистых камер сгорания.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Выносимые на защиту положения и результаты с достаточной полнотой отражены в шести статьях в периодических изданиях, включённых в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, рекомендованных ВАК, два из них опубликованы в журналах, имеющих переводные версии, индексируемые в Scopus.

Вопросы и замечания к работе.

1. В работе не представлено сравнение разработанной методики с ранее выполненными работами зарубежных авторов ведущих фирм мира, неясно чем данная методика отличается от аналогов.
2. В работе не показано, как учитывается неравномерность потока воздуха из-за компрессора высокого давления на вход в камеру сгорания при экспериментальной доводке в составе одногорелочного отсека.
3. Не ясно каким образом определяется параметр закрутки фронтального устройства на рис. 4.1 «Экспериментальная зависимость крутки потока от уровня потерь полного давления на фронтальном устройстве».
4. В качестве недостатка можно отметить наличие отдельных результатов расчётных исследований без привязки к экспериментальным данным, а также имеющимися в ряде случаев, неудачными формулировками.

Заключение

Диссертационная работа Нугуманова Алексея Дамировича «Методика экспериментальной доводки низкоперепадных камер сгорания газотурбинных установок по экологическим нормам» выполненная в отделении камер сгорания АО «ОДК-Авиадвигатель» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи получения требуемых уровней эмиссии вредных веществ в выхлопных газах высоко параметрической газотурбинной установки с обеспечением устойчивой работы, без пульсаций давления, малоэмиссионной камеры сгорания работающей по принципу сжигания бедных предварительно подготовленных топливовоздушных смесей при экспериментальной доводке.

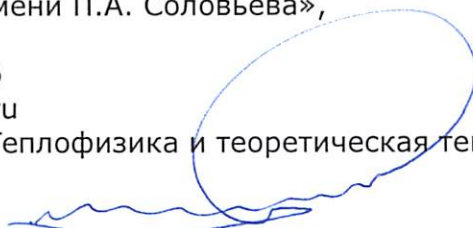
Работа выполнена на высоком научном и техническом уровне с использованием современных средств и методик, а основные выводы обоснованы и подтверждены результатами внедрения.

Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к

диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Нугуманов Алексей Дамирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Отзыв обсуждён на заседании кафедры «Общая и техническая физика» ФБГОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» 13.05.2022 (протокол №11). На заседании присутствовало 11 человек. Результаты голосования: за – 11, против – 0, воздержались – 0.

Декан факультета авиадвигателестроения
ФБГОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный
технический университет имени П.А. Соловьева»,
доктор технических наук
телефон: +7-920-100-84-26
e-mail: marialex2004@mail.ru
специальность: 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника



23 мая 2022

Александр Игоревич Гурьянов

ФБГОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», 152934, Ярославская область, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53 (ФБГОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева)

Подпись Гурьянова Александра Игоревича заверяю:

Учёный секретарь Учёного Совета
ФБГОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева,
кандидат технических наук, доцент



23 мая 2022

Сергей Александрович Волков