

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Рыбинский государственный авиационный
технический университет
имени П.А. Соловьева»
(РГАТУ имени П.А. Соловьева)

Пушкина ул., д. 53, Рыбинск,
Ярославская обл., 152934.
Тел. (4855) 28-04-70. Факс (4855) 21-39-64.
E-mail: root@rgata.ru

11.05.2017 № 0812/1012

Ученому секретарю диссертационного
совета Д 212.125.08
д.т.н., профессору Ю.В.Зуеву

125993, г.Москва, А-80, ГСП-3,
Волоколамское шоссе, дом 4
ФГБОУ ВО «Московский авиационный
институт (национальный
исследовательский университет)»

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

по диссертационной работе Челебяна Оганеса Грачьяевича по теме «Метод
подготовки равномерной смеси жидкого топлива с воздухом во фронтовом
устройстве авиационной малоэмиссионной камеры сгорания», представленной на
соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.07.05 – Тепловые,
электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Диссертационная работа изложена на 157 страницах рукописного текста,
содержащих 83 иллюстраций и 4 таблицы. Она состоит из введения, 4 глав, заключения
и библиографического перечня из 114 наименований.

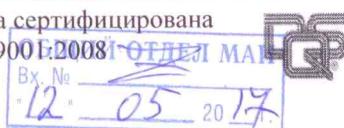
Актуальность темы. Актуальность темы связана с повышением качества
сжигания топлива в камерах сгорания газотурбинных двигателей, направленного на
снижение эмиссии и повышение качества воспламенения и устойчивости горения.

Проблема чистого двигателя находится под контролем отечественных и
зарубежных организаций, основная задача которых осуществление контроля по
загрязнению окружающей среды энергопреобразующими устройствами на основе
сжигания горючих веществ.

В РФ лишь два газотурбинных двигателя SAM-146 и ПС-90 в определенной
степени удовлетворяли требованиям ICAO по эмиссии NO_x до 2014 г. И нет ни одного
из них, удовлетворяющих требованиям долгосрочной перспективы до 2020 г., а
следовательно и еще более жестким нормам 2030 г. Отмеченное приводит к выводу о
том, что выбранная автором тема и озвученные цели актуальны с научно-технических
позиций и коммерческих перспектив отечественной авиационной и наземно-судовой
газотурбинной техники.

Обоснованность и достоверность. Обоснованность и актуальность выбранного
направления повышения качества эмиссионных характеристик не вызывает сомнения.
Это подтверждается подробным и грамотно построенным анализом механизмов

Система менеджмента качества РГАТА имени П. А. Соловьева сертифицирована
на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2008



образования нежелательных эмиссионных выбросов с уходящими газами за выходными устройствами газотурбинных двигателей, изложенным во введении и первой главе диссертационной работы. Автором критически проработаны принципы известных и широко применяемых концепций снижения эмиссии NO_x . Почеркнут эволюционный принцип ужесточения нормирования эмиссии ВВ в ICAO. Отмечено, что только два отечественных двигателя совместного производства Д-436-148 (ГП «Ивченко-Прогресс») и SAM-146 (ПАО «НПО»Сатурн» и Snecma Moteura) соответствуют нормам международных требований по выбросам NO_x 2014 г. Еще более жесткие требования по снижению уровня эмиссии NO_x намечены на 2020 и 2030 г.г. Необходимо отметить обоснованность выбранной автором темы исследования направленной на повышение качества подготовки топливо-воздушной смеси с целью обеспечения малоэмиссионной технологии сжигания жидкого топлива в камере сгорания ГТД.

Первая глава диссертационной работы состоит из подробного анализа известных способов распыла жидкости, приведена их классификация с анализом достоинств и недостатков. Отмечены требования, предъявляемые к устройствам смесеподготовки и распыла в фронтовых устройствах, обеспечивающих необходимую эффективность рабочего процесса КС.

Основательно в главе проработаны авиационные малоэмиссионные камеры сгорания базирующиеся на DLE (Dry Low Emission) методе. Проведен сопоставительный анализ различных способов смесеподготовки с обеспечением соответствующих технологией сжигания топливовоздушной смеси: DLE (Dry Low Emission), SAC с одной зонной стабилизации и горения с однорядным расположенным фронтового устройства (GE), системы DAC и SAC с двухзонной и однозонной стабилизациями горения, концепции LBP (предварительная подготовка смеси) и LDI (прямой непосредственный впрыск). В выводах по главе автор приходит к заключению о необходимости повышении качества смесеобразования высокодисперсным распыливанием с быстрым испарением на основе форсунок с газо-жидкостным взаимодействием, позволяющим от двух до семи раз снизить размеры капель сравнительно с пневматическим распыливанием.

Вторая глава посвящена методам исследования характеристик аэрозолей с оценкой влияния их параметров на качество распыла. Основными из них по мнению автора являются: среднеарифметический размер (диаметр) капель, поверхностно-линейный размер, средний поверхностный диаметр, среднемассовый диаметр. В таблице 1 приведены их расчетные зависимости.

Описанные в работе опыты проведены на стенде лазерной диагностики характеристик топливовоздушных факелов ЦИАМ, позволяющим исследовать требуемые для анализа характеристики распыла с визуализацией в прозрачных моделях с кварцевыми стеклами зажигания и процесса горения на модельных режимах. Стенд оснащен необходимым современным высококачественным оборудованием, позволяющим проводить требуемые измерения на высоком уровне по достоверности и качеству с применением фазо-доплеровской анемометрии (РДРА) и метода малоуглового рассеяния света (ММУ), позволяющего измерить средний заумеровский диаметр частиц аэрозоля.

Подробно описаны установки, использованные автором в процессе выполнения диссертационной работы и методики проведения на них исследований. Анализ второй главы приводит к выводу о высоком качестве проведенных исследований с использованием современных методов и приборов для их реализации. С этих позиций используемая методика и экспериментальная техника в полной мере гарантируют высокий уровень качества проводимых экспериментов.

Третья глава диссертационной работы состоит из постановки экспериментальных исследований фронтовых устройств и формируемых ими параметров распыла, оказывающих влияние на процесс смесеобразования и соответственно на качество процесса горения, в том числе и на характеристики по эмиссии.

Детально проанализированы особенности жидкого топлива и проведены исследования влияния их физических свойств, способов распыла на характеристики аэрозоля с использованием двух типов горелок: центробежно-пневматическая двухканальная для комбинированного топлива и одноканальная пневматическая. Рассмотрено влияние протекающих нестационарных процессов, зависящих от физических свойств распыливаемой среды и параметров потока на качество распыла по мелкости, равномерности и углу раскрытия факела. При этом подчеркивается участие в процессе образования факела способа диспергации истекаемой среды. Опыты проведены с использованием альтернативных видов топлива, что позволило выполнить обобщение полученных результатов и предложить формулу расчета максимального диаметра капель от физических свойств жидкости: плотности - ρ , кинематической вязкости - ν , коэффициента поверхностного натяжения $D_{32} = (0,136 \cdot \rho + 0,391 \cdot 10^{-4} \nu + 0,11 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,33$. Судя по коэффициентам при переменных кинематическая вязкость практически не влияет, а основное воздействие на характер распыла оказывает плотность распыливаемой среды – жидкости.

Автором подробно проанализированы методы подготовки каждого этапа предстоящего распыла жидкого топлива: топливоподачи, проектирования каналов закрутки воздуха в виде радиального устройства, что позволило представить конструктивное исполнение комплекса из закручивающих устройств и фронтового модуля с двумя рядами устройств закрутки потока, позволившая повысить процесс смешения с эффективным углом раскрытия факела распыла составляющим примерно 90^0 по мнению автора.

Проведенный автором детальный анализ проточной части фронтового устройства позволило построить 3D модель фронтового модуля и выполнить численный расчет газодинамики его проточной части.

Из текста диссертационной работы этот раздел наиболее слабо представлен. Нельзя оценить качество проведения численного расчета по предельно сокращенному описанию его постановки. Ссылка автором на рис.4 не дает дополнительного пояснения. Какая использовалась сетка, постановка (стационарная, нестационарная), условия завершения расчета, верификация полученных результатов. Завершается глава экспериментальными исследованиями гидрогазодинамики, которые следовало бы проверить с результатами численных расчетов. Экспериментальные работы проведены

на современном оборудовании метрологически аттестованного, что позволяет достигнуть необходимой достоверности измерений.

Научная новизна. Автором разработан метод подготовки равномерной смеси жидкого топлива с воздухом, на основе которого создан фронтовой модуль распыла топливо-воздушной смеси, экспериментальные испытания подтвердили его эффективность в генерации требуемой равновесности смеси жидкого топлива с воздухом при повышенном давлении, что позволит достигнуть снижения эмиссионных характеристик по выбросам и повысить полноту сгорания.

Практическая значимость. Спроектировано, изготовлено и экспериментально исследовано устройство пневматического распыливания жидких топлив, новизна которого подтверждена патентами, а результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность его применения при организации рабочего процесса перспективных схем малоэмиссионных камер сгорания ГТД.

Полученные результаты используются в МАИ на кафедре «Технология проектирования и производства двигателей летательных аппаратов», а также на предприятии ФГУП «ЦИАМ им. П.А.Баранова».

Основные результаты, полученные автором в работе совпадают с выводами.

Диссертация изложена последовательно на удовлетворительном русском языке, содержит незначительное количество грамматических ошибок, ошибок в тексте, имеются повторы, перегружена рисунками, хотя и высокого качества, некоторая нечеткость и растянутость в выводах. Детальный анализ существующих методов борьбы с эмиссионными выбросами позволил выделить ключевые подходы к обеспечению снижения эмиссии NO_x в разработанном методе организации смесеобразования и устройстве для его реализации. Нельзя не отметить оригинальность подхода автора в усовершенствованной им концепции воздействия на снижение NO_x и предложенном техническом решении.

Судя по тексту работы автор достаточно глубоко и вдумчиво проработал выбранную тему, показав незаурядные способности при решении достаточно сложных задач по снижению эмиссии при работе ГТД на жидким топливах.

Материал диссертации в требуемой степени опубликован и апробирован.

Диссертация выполнена добротно, оставляет приятное впечатление на основе которого напрашивается вывод об авторе как о вполне сложившемся ученом-исследователе. Нельзя не отметить наличие некоторых недостатков. Некоторая растянутость и нечеткость в выводах.

Текст автореферата соответствует полностью содержанию диссертации.

Самое слабое место в работе – численный расчет. Недостаточно корректно описан, отсутствует сеточная модель проводимого расчета, его постановка (стационарная или нет), верификационное сопоставление, и обоснование выбора замыкающей модели турбулентности. Она лишь ухудшила содержание вполне достойной защиты работы.

Недостатки не снижают хорошо выполненной работы, которая по содержанию, новизне и глубине проработки представляет собой вполне завершенный научный труд, заслуживающий высокой оценки.

На основании отмеченного, считаю, что представленный соискателем материал является законченным квалификационным исследованием, обладающим несомненной научной новизной и практической значимостью и отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Челебян Оганес Грачьяевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Заслуженный деятель науки и техники РФ,
заведующий кафедрой общей
и технической физики ФГБОУ ВО
РГАТУ имени П.А. Соловьева,
д-р техн.наук, профессор

Ш.А. Пиралишвили

Подпись профессора Ш.А. Пиралишвили подтверждают

Ректор ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьёва
д-р техн.наук, профессор

В.А. Полетаев

