

Публичное акционерное общество «ОДК-Сатурн»
(ПАО «ОДК-Сатурн»)
пр. Ленина, 163, г. Рыбинск,
Ярославская обл., Россия, 152903
телефон: +7 (4855) 32-81-00 (для справок)
факс: +7 (4855) 32-90-00
E-mail: saturn@uec-saturn.ru
www.uec-saturn.ru
ОГРН 1027601106169
ИНН 7610052644, КПП 761001001

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального
директора ^{Управляющий}
директор ПАО «ОДК-Сатурн»
В.А. Поляков
“ ” 2020 г.



04.03.2020 № 201/001-232

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Колодяжного Дмитрия Юрьевича «Методология исследований и разработок электрокаплеструйных способов и технологий в авиационных двигателях», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности: 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка используемых источников.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, определены объект и предмет исследований, цель работы и решаемые научно-технические задачи. Приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, а также сформулированы положения, выносимые на защиту. Приведены сведения о степени достоверности полученных результатов и их публикациях, апробации работы, структуре и объеме диссертации.

В первой главе проведен анализ состояния и путей повышения эффективности процессов распыла и горения углеводородных топлив. Применительно к авиационным двигателям использование электрических полей для повышения эффективности распыла и сгорания керосина рассматривается в данной диссертации впервые. Сформулированы задачи, цели, стратегия и методы исследований электрокаплеструйных форсуночных модулей (ЭКСФМ) применительно к газотурбинным авиадвигателям, основанных на разработанной технологии Динамического конструирования.

Во второй главе представлены электрофизические и экспериментальные основы влияния электрических полей на керосин, сообщения униполярного электрического заряда керосину и каплям керосина.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

05 03 2020

В третьей главе разработаны методы построения электрокаплеструйных форсуночных модулей применительно к авиационным двигателям.

В четвертой главе представлены результаты исследований, разработанных математических и численных ЭГД моделей процессов инжекции и переноса униполярного электрического заряда закрученным потоком керосина в ЭКСФМ применительно к турбореактивным авиадвигателям на примере камеры подогрева стартера воздушно – газового (КП СТВГ) боевого самолета.

В пятой главе представлены результаты исследований разработанных математических моделей и численных ЭГД моделей процессов переноса униполярного электрического заряда в базовом электрическом устройстве воздействия на топливо (ЭУВТ) и впервые разработанной электропневматической форсунке (ЭПФ) закрученным потоком керосина и распыла керосина в ЭКСФМ применительно к газотурбинным авиационным двигателям на примере авиационного двигателя пятого поколения ПД-14 со взлетной тягой от 8 до 16 тонн для гражданских самолетов.

В шестой главе разработаны и исследованы математические модели и методы численного расчета процессов горения керосино-воздушной смеси в КС с базовым ЭУВТ в цепях питания форсунок. Проведена верификация экспериментом их результатов при огневых испытаниях ЭКСФМ на модельной КС с центробежной форсункой (в СГАУ) и реальной КС авиадвигателя ПД-14 (в АО «ОДК – Авиадвигатель»).

В заключении излагаются итоги выполненного исследования.

Актуальность темы диссертации.

В настоящее время ведутся активные исследования по обеспечению экологии и энергоэффективности газотурбинных двигателей. Большое значение имеет совершенствование камеры сгорания, которое обычно требует усложнения конструкции. Одним из путей решения проблемы является улучшение качества процессов распыла топлива и сгорания топливовоздушной смеси в двигателях. Это может быть обеспечено применением электрокаплеструйных технологий, включающих управление электрическими полями при подаче и распыле топлива в форсунке. Для реализации данной технологии, удовлетворяющей требованиям к авиационным двигателям, необходимо создание методологии исследований и разработок электрокаплеструйных способов. Это требует комплексного знания и опыта понимания взаимодействующих физических, химических процессов, электрических полей в камере сгорания с последующим определением облика конструкции и её доводки. Решение данной проблемы является актуальным, так как позволит получить оптимальное решение для совершенствования процесса горения.

Научная новизна и достоверность результатов.

Предложена система исследований и разработок электрических устройств воздействия на топливо, предусматривающая использование численных моделей взаимосвязанных электрогидродинамических процессов, конструктивных и электрических параметров в эффективных узлах распыла топлива (форсуночных модулей). Основные научные результаты, полученные автором:

1. Получена формула, отражающая зависимость эффективного поверхностного натяжения от величины электрического заряда. Электрический заряд каплей топлива не только уменьшает их поверхностное натяжение, но и уменьшает диаметры капель при распыливании топлива.

2. Разработаны численные модели:

– электрогазодинамических процессов образования заряда в неоднородном электрическом поле вблизи электрода и его распространения в закрученном потоке топлива применительно к форсуночному модулю;

– процессов течения двухфазных потоков, позволяющие описывать течения топлива с воздухом и определять характеристики распыла;

– процессов течения газа, распространения капель, горения и образования вредных веществ в камерах сгорания ГТД.

3. Для верификации численных моделей созданы экспериментальные образцы форсуночных модулей, исследования которых подтвердили достоверность разработанных численных моделей. Проведены вычислительные эксперименты, по результатам которых разработаны рекомендации по выбору параметров форсуночных модулей. Рекомендации реализованы в экспериментальной пневматической форсунке двигателя ПД-14. При испытаниях получена удовлетворительная сходимость полученных результатов с результатами вычислительных экспериментов.

Отсутствие данных по аналогичным работам (по ГТД) за рубежом, получение 6 патентов дополнительно подтверждает её новизну. Представленная диссертационная работа является цельным самостоятельным исследованием, основные научные положения, выводы, предложения и рекомендации достаточно логичны и аргументированы.

Практическая значимость результатов диссертации

При проведенных огневых испытаниях, как на модельных, так и на реальных камерах сгорания авиадвигателей с центробежными и пневматическими форсунками экспериментально подтверждено, что использование электрических полей в ЭКСФМ позволяет улучшить характеристики распыла топлива и сгорания КВС в камере сгорания авиационного газотурбинного двигателя, что приводит к снижению эмиссии вредных веществ:

– средние диаметры капель при наличии электрического поля оказываются меньше, чем для «базы» на 8 % (когда электрическое напряжение на электродах ЭУВТ отсутствует);

– установлено, что с увеличением перепада давления по воздуху $\Delta \bar{p}_B$, угол топливного факела $\varphi_{T\phi}$ при наличии электрического напряжения на электродах ЭКСФМ увеличивается, причём, чем больше перепад давления по топливу Δp_T , тем менее значительно это увеличение. Значение угла топливного факела $\varphi_{T\phi}$ оказывается больше, чем для «базы» (когда электрическое напряжение на электродах ЭУВТ отсутствует). Например, для ЭКСФМ с центробежной форсункой при перепаде давления по воздуху 3 % при перепаде давления по топливу 0,128 МПа угол $\varphi_{T\phi}$ при наличии электрического напряжения на электродах ЭУВТ увеличивается на 36 % относительно базы;

– повышается средняя температура газа на выходе газосборника камеры сгорания на 4 % относительно базы;

– повышается максимальная температура газа на выходе газосборника камеры сгорания на 5 % относительно базы;

– по результатам огневых испытаний отсека камеры сгорания двигателя ПД-14 на режиме малого газа применение разработанной методологии позволяет: снизить содержание в выхлопных газах перед турбиной двигателя окиси углерода на 10%, несгоревших углеводородов на 57%; уменьшить неравномерность поля температур на 10%.

Все это свидетельствует об улучшении параметров распыла топлива, увеличении полноты его сгорания.

Показано, что разработанные ЭКСФМ при подаче электрического напряжения на электроды обеспечивают среднезаутеровский диаметр капли керосино-воздушного аэрозоля меньше 35 микрон при работе авиационного газотурбинного двигателя в реальных условиях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Результаты диссертации имеют большое значение не только для развития авиадвигателестроения, но и для других отраслей. Эти результаты могут использоваться в судостроении, в системах перекачки газа и др., а также – в научных исследованиях. Они представляют весьма универсальный аппарат теоретического и практического анализа и синтеза разработанного нового класса форсуночных модулей (ЭКСФМ) и ЭКС технологий, который определяет дальнейшие пути целенаправленного поиска частных электрокапельструйных методов в различных отраслях науки и техники.

Полученные результаты могут получить развитие на перспективных двигателях ПД-14, ПС-90А, ПД-35, авиадвигателях боевых самолетов в АО «ОДК-

Авиадвигатель», ОКБ им. А. Люльки, а также в ВУЗах при проведении научных исследований (СГАУ, ПНИПУ и др.).

Замечания по диссертационной работе

Недостатками работы являются:

1. Ошибка в определении разницы T_r в градусах Цельсия (стр. 13).
2. Вызывает сомнение необходимость введения нового понятия (термина) «технология Динамического конструирования».
3. Нет данных по снижению таких важных вредных выбросов как NO_x .
4. Не проведены испытания форсуночных модулей в составе двигателя, по результатам которых можно было бы дать окончательную оценку.
5. В работе для расчёта течения в форсуночных модулях при наличии электрических устройств воздействия на топливо применяются разные расчётные комплексы: Ansys CFX, OpenFOAM, Ansys Fluent. С точки зрения практического использования разработанной автором методологии, желательно построить работу только на каком-то одном программном комплексе.
6. Для расчётов (глава 6) используется ANSYS CFX с лагранжевой моделью капель, что не стыкуется с предыдущей главой, в которой для расчёта использовалась VOF модель с эйлеровым подходом к моделированию капель.

Перечисленные недостатки и замечания не снижают научной и практической значимости работы.

Заключение.

Диссертация Колодяжного Д.Ю. «Методология исследований и разработок электрокаплеструйных способов и технологий в авиационных двигателях», является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения важной актуальной проблемы – совершенствования процесса горения и, как следствие этого, повышения экологичности проектируемых авиационных двигателей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Тема диссертации и ее содержание соответствуют специальности 05.07.05 – "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов" (технические науки).

Работа выполнена на высоком научном уровне, обладает научной новизной и ее результаты имеют практическую значимость. Выводы и рекомендации являются обоснованными. Публикации (15 статей в рецензируемых изданиях, 6 патентов на изобретения, 15 тезисов докладов на конференциях) в полном объеме отражают содержание и основные результаты выполненной работы.

Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени

доктора технических наук, а ее автор, Колодяжный Дмитрий Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Диссертация обсуждена на заседании научно-технического совета ПАО «ОДК-Сатурн» 3 марта 2020 года, протокол №3.

И.о. Генерального конструктора



04.03.20

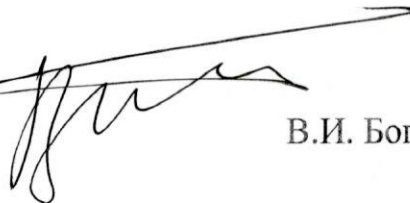
В.А. Афонин

Начальник ОКБ-1 – заместитель
председателя научно-технического
совета ПАО «ОДК-Сатурн»



В.В. Бушманов

Эксперт конструкторского отдела
перспективных разработок и
экспериментальных исследований
ГТД, доктор технических наук



В.И. Богданов