

3/12 +

ХОЛДИНГ ВЕРТОЛЕТЫ РОССИИ  
Акционерное общество  
«Национальный центр вертолетостроения  
им. М.Л. Миля и Н.И. Камова»  
**(АО «НЦВ Миль и Камов»)**  
ул. Гаршина, д. 26/1, рп Томилино  
городской округ Люберцы  
Московская обл., 140070  
Тел.: +7(495) 669-23-90, +7(495) 647-32-10  
Факс: +7(498) 553-80-02, e-mail: mvz@mi-helicopter.ru  
ОГРН 1027739032969, ИНН 7718016666  
www.russianhelicopters.aero  
06.03.2020 № 5006  
На № 08-2019-30 от 09.12.2019

Ученому секретарю  
диссертационного совета  
Д 212.125.08  
МАИ

Зуеву Ю.В.

125993, ГСП-3, Москва, А-80,  
Волоколамское шоссе, д. 4

О направлении отзыва на диссертацию  
Колодяжного Д.Ю.

Уважаемый Юрий Владимирович!

Направляем отзыв на диссертацию соискателя ученой степени доктора технических наук Колодяжного Дмитрия Юрьевича на тему: «Методология исследований и разработок электрокаплеструйных способов и технологий в авиационных двигателях» (прилагается).

Приложение: на 5 л. в 2 экз.

Исполнительный директор



М.З. Короткевич

Сторожев Михаил Анатольевич  
+7 (495) 669-23-90 (54-96)  
+7 (495) 647-31-38

10.01/12

**ХОЛДИНГ ВЕРТОЛЕТЫ РОССИИ**  
**Акционерное общество**  
**«Национальный центр вертолетостроения**  
**им. М.Л. Миля и Н.И. Камова»**  
**(АО «НЦВ Миль и Камов»)**

---

УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор  
АО «НЦВ Миль и Камов»



М.З.Короткевич

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2020 г.

**ОТЗЫВ**

АО «НЦВ Миль и Камов» на диссертацию соискателя ученой степени доктора технических наук Колодяжного Дмитрия Юрьевича на тему «Методология исследований и разработок электрокаплеструйных способов и технологий в авиационных двигателях» (специальность 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»).

**Актуальность работы.**

Заявленные автором диссертации в теоретических разработках и подтвержденные в экспериментальных работах улучшение экологических показателей, снижение стоимости эксплуатации за счет снижения удельных расходов вследствие повышения параметров термодинамического цикла, повышение надежности запуска при минусовых температурах за счет улучшения качества распыла топлива в газотурбинных авиационных двигателях являются актуальными в свете, например, таких задач, как:

- создание аэротакси, сравнимого по эксплуатационным затратам и экологическим показателям с автомобильным транспортом;
- освоение районов Арктики с помощью летательных аппаратов автономного базирования, таких, как вертолеты, с обеспечением надежного запуска двигателей при отрицательных температурах наружного воздуха, а также ряда других задач.

**Диссертационная работа** состоит из введения, шести глав, заключения и выводов по работе, списка использованных источников из 331 наименования. Общий объем диссертации составляет 562 страницы.

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, дается определение цели и задач исследования, приводится перечень основных результатов, выносимых на защиту, а также сведения об использовании и внедрении результатов работы.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«18» 03 2020.

**В первой главе диссертации** приведен анализ состояния и путей повышения эффективности процессов распыла и горения углеводородных топлив авиационных двигателей. Впервые рассматриваются воздействия сильных магнитных и электрических полей на авиационное топливо (керосин) для улучшения его распыла и сгорания.

**Вторая глава посвящена** изложению электрофизических и экспериментальных основ влияния электрических полей на углеводородное топливо (керосин) и способам сообщения униполярного электрического заряда каплям топлива.

**В третьей главе** представлены методы построения электрокаплеструйных форсуночных моделей (далее – ЭКСФМ) применительно к авиационным двигателям. Предложена стратегия и методология исследований и разработок ЭКСФМ с пневматическими и центробежными форсунками, применяемыми в авиационных двигателях. Предложены методы обеспечения пожаро-, взрыво- и электро- безопасности при конструктивной реализации электродной системы электропневматической форсунки.

**В четвертой главе** представлены результаты исследований, разработанных математических и численных моделей процессов инжекции и переноса униполярного электрического заряда закрученным потоком керосина в ЭКСФМ, применительно к авиационным газотурбинным двигателям.

**В пятой главе** представлены результаты исследований возможности реализации разработанного метода повышения эффективности распыла и горения топлива применительно к штатным (или доработанным) топливным форсункам авиационных двигателей.

**В шестой главе** представлены результаты разработки и исследования математических моделей и методов численного расчета процессов горения топливо-воздушной смеси в камере сгорания с электронным устройством воздействия на топливо в цепях питания форсунок. Проведена верификация экспериментом результатов моделирования при огневых испытаниях, в том числе на реальной камере сгорания двигателя ПД-14.

**Заключение содержит** основные научные результаты диссертационного исследования, в котором отражена имеющая важное хозяйственное значение актуальная научная проблема более эффективного управления дисперсностью топлива, процессами образования, воспламенения и горения топливо-воздушных смесей в авиационных двигателях. Это достигнуто путем разработки теории и методов численного моделирования и конструирования с последующей верификацией экспериментом на оборудовании узлов распыла топлива ЭКСФМ авиационных двигателей, выбором их рациональных параметров с использованием соответствующим образом организованных электрических полей. При этом единой методологической основой является разработанная технология динамического конструирования, а также теоретические электрогидродинамические модели рассматриваемых процессов, теоретические и экспериментальные методики и инструментальные средства.

**Выполненные в диссертационной работе исследования и полученные результаты обладают свойством новизны. Особого внимания заслуживают следующие новые научные результаты:**

1. Разработана стратегия исследований и предложены обобщенные методологические принципы разработки конструкций ЭКСФМ, позволяющие выполнить их в модульно-блочном исполнении.

2. Впервые применительно к газотурбинным авиационным двигателям разработаны методы и технология повышения эффективности распыла жидкого топлива и горения топливовоздушной смеси с использованием резко неоднородных постоянных и переменных электрических полей и их совместного использования.

3. Показано, что электрический заряд капель углеводородных топлив не только уменьшает поверхностное натяжение капель, но и уменьшает диаметры капель при распыливании топлива. Впервые получена безразмерная формула зависимости поверхностного натяжения капли топлива от величины заряда, хорошо отображающая результаты экспериментов и использованная при дальнейших численных расчетах по распылу топлива и горения топливно-воздушной смеси в камерах сгорания (КС).

4. Разработаны методы повышения эффективности электризации углеводородных топлив и ТВС и математические модели электрогидродинамических процессов сообщения униполярного электрического заряда углеводородным топливам в резко неоднородном электрическом поле электронных устройств воздействия на топливо. Проведен анализ физических моделей образования заряда в потоке топлива и предложено для дальнейших численных исследований принять уточненную для керосина на базе проведенных экспериментов инжекционную модель.

5. Разработаны численные модели (с учетом уточненной инжекционной модели и полученной математической модели влияния электрического заряда на поверхностное натяжение капли керосина):

- электрогидродинамических (ЭГД) процессов образования униполярного заряда в резко неоднородном электрическом поле вблизи поверхности электрода типа «игла» и его распространения в закрученном потоке керосина применительно к турбореактивным авиационным двигателям;
- процессов течения двухфазных потоков, позволяющие описывать течения топлива с воздухом и определять характеристики распыла;
- процессов течения газа, распространения и испарения капель, горения и образования вредных веществ в КС авиационного газотурбинного двигателя.

6. Разработана численная ЭГД модель ЭКСФМ применительно к турбореактивным авиадвигателям, в которой электродная часть ЭУВТ является конструктивным элементом топливной форсунки. Проведено трехмерное численное моделирование закрученного топливным завихрителем турбулентного течения керосина как без, так и с учетом ЭГД взаимодействия и выявлены гидродинамические закономерности течения потока, используемые в дальнейших исследованиях. Показано, что количество выносимого из форсунки униполярного заряда достигает около 80% инжестируемого с игольчатого

электрода заряда. Последнее подтверждает эффективность принятых конструктивных решений для электризации топлива. Исследовано влияние конструктивных параметров и степени закрутки керосина на количество выносимого из форсунки заряда и даны рекомендации по дальнейшей оптимизации конструкции ЭКСФМ.

7. Теоретически исследованы в статике и динамике процессы сообщения униполярного электрического заряда каплям углеводородных топлив в поле коронного разряда в ЭКСФМ. Сформулированы требования (по результатам исследований) к скорости и параметрам капель углеводородных топлив с различными диэлектрическими проницаемостями для обеспечения их максимального как положительного, так и отрицательного заряда в электрическом поле коронного разряда ЭКСФМ.

8. Решены задачи повышения точности и достоверности численных моделей рассматриваемых нестационарных процессов, характерных для авиадвигателей, с целью получения наибольшего совпадения результатов компьютерных вычислений с экспериментальными данными на современном оборудовании.

9. На основании проверенных экспериментом разработанных численных ЭГД моделей проведены и обобщены численные исследования влияния конструктивных, электрогидроаэродинамических, гидродинамических, электрических параметров на характеристики распыла и горения, даны рекомендации по выбору и выбраны рациональные параметры ЭКСФМ. Предложены пути их дальнейшего совершенствования.

10. Эффективность такого подхода при динамическом конструировании продемонстрирована на примере оптимизированного при различных режимах работы авиадвигателя образца экспериментальной пневматической форсунки для газотурбинного авиадвигателя ПД-14, как элемента ЭКСФМ.

11. Созданы, конструктивно проработаны и впервые изготовлены экспериментальные образцы ЭКСФМ с электродной системой ЭУВТ внутри форсунки, имеющие идентичные параметры по расходу топлива и воздуха, а также внешние установочные параметры, как и в ЭОФ. Показано, что для одновременного обеспечения жаропрочности и диэлектрических свойств (применительно к условиям работы авиадвигателей) в качестве изолирующего материала соответствующих деталей ЭПФ целесообразно выбрать корундоциркониевую керамику.

12. При впервые проведенных огневых испытаниях в АО «ОДК-Авиадвигатель» по разработанным методикам влияния ЭГД, конструктивных и электрических параметров ЭУВТ на распыл керосина и горение керосино-воздушной смеси на современном оборудовании в составе разработанных конструкций ЭКСФМ с центробежной и пневматической форсунками как на модельных, так и на реальных КС авиадвигателей экспериментально подтверждено, что использование электрических полей в форсуночных модулях позволяет улучшить характеристики распыла топлива и сгорания топливно-воздушной смеси в КС авиационного газотурбинного двигателя, что приводит к снижению эмиссии вредных веществ.

13. Совокупность полученных результатов составляет научные основы расчета и современного конструирования эффективных ЭКСФМ.

14. Предложенные методы расчета и проектирования ЭКСФМ использованы в АО «ОДК-Авиадвигатель» при разработке конструкторской документации и изготовлении ЭОФ и ЭПФ (как элементов ЭКСФМ) с дальнейшей верификацией экспериментом.

15. Подтверждены базовые положения теоретических моделей путем сравнительного анализа результатов численных расчетов и экспериментов, проведенных на современном лазерно-оптическом и другом оборудовании. Научная ценность предложенных электрокаплеструйных методов и технологий определяется их общностью и достоверностью, что доказано сравнительной оценкой результатов теоретических и экспериментальных исследований на реальных авиационных двигателях.

Содержание работы полностью отвечает ее теме и целевой установке. Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в работах соискателя, опубликованных в печати. Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации.

Работа соответствует специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержащей совокупность новых научных результатов, обладает внутренним единством и снабжена достаточным количеством иллюстраций. Работа имеет научную и практическую ценность, характеризует автора как ученого, обладающего глубокими профессиональными знаниями, способного самостоятельно ставить и решать научные задачи.

В целом диссертация соответствует критериям Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации, изложенным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Колодяжный Дмитрий Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Главный конструктор  
по двигателям и их системам



М.А. Сторожев