

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Колодяжный Дмитрий Юрьевич

Тема диссертации: «Методология исследований и разработок электрокаплеструйных способов и технологий в авиационных двигателях»

Специальность: 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 23 марта 2020 года диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Колодяжному Дмитрию Юрьевичу учёную степень доктора технических наук.

Присутствовали:

председатель диссертационного совета: Равикович Ю.А.;

заместитель председателя диссертационного совета: Агульник А.Б.;

учёный секретарь диссертационного совета: Зуев Ю.В.;

члены диссертационного совета: Демидов А.С., Козлов А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Лесневский Л.Н., Марчуков Е.Ю., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А., Чванов В.К., Шмотин Ю.Н.

Учёный секретарь диссертационного
совета Д 212.125.08, д.т.н., профессор

Зуев

Юрий Владимирович

Начальник отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23.03.2020 г. № 1

О присуждении Колодяжному Дмитрию Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Методология исследований и разработок электрокаплеструйных способов и технологий в авиационных двигателях» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 16.12.2019 г. (протокол заседания № 30) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4; приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета - № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Колодяжный Дмитрий Юрьевич, 1972 года рождения, работает советником президента в Акционерном обществе «Объединённая судостроительная корпорация» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук «Устойчивость и точность технологических систем при прерывистой обработке резанием заготовок зубчатых колёс» защитил в 2012 году в диссертационном совете Д 212.229.26, созданном на базе федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Транспортные и технологические системы» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ Нагорный Владимир Степанович, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», кафедра «Транспортные и технологические системы», профессор.

Официальные оппоненты:

- Лепешинский Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Теория воздушно-реактивных двигателей», профессор;

- Мясников Юрий Николаевич доктор технических наук, профессор, почётный судостроитель РФ, заслуженный деятель науки РФ, федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский государственный научный центр», главный научный сотрудник;

- Ремизов Александр Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва», кафедра «Авиационные двигатели», заведующий кафедрой

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Публичное акционерное общество «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск, в своем положительном отзыве, подписанном Афониным В.А.,

и.о. генерального конструктора, Бушмановым В.В., начальником ОКБ-1 – заместителем председателя научно-технического совета ПАО «ОДК-Сатурн», Богдановым В.И., доктором технических наук, экспертом конструкторского отдела перспективных разработок и экспериментальных исследований ГТД и утвержденном Поляковым В.А., заместителем генерального директора – управляющим директором ПАО «ОДК-Сатурн», указала, что 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 электрокаплеструйных форсуночных модулях позволяет улучшить характеристики распыла топлива и сгорания керосино-воздушной смеси в камере сгорания авиационного газотурбинного двигателя, что приводит к снижению эмиссии вредных веществ.

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 (электрокаплеструйных форсуночных модулей) и электрокаплеструйных технологий, который определяет дальнейшие пути целенаправленного поиска частных электрокаплеструйных 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. Льюльки, а также в ВУЗах при проведении научных исследований (СамГТУ, ПНИПУ и др.).

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.

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».

Соискатель имеет 45 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 38 работ общим объемом 19 печатных листов, из них в рецензируемых научных изданиях и приравненных к ним опубликовано 22 работы. Из 38 работ – 15 статьи в научных журналах, 7 – патенты РФ, 16 – доклады на Международных научных конференциях. Все работы опубликованы в соавторстве.

В этих работах рассматриваются основные положения и представлены основные результаты разработанных применительно к газотурбинным авиационным двигателям: путей повышения эффективности распыла и сгорания углеводородного топлива с использованием электрических полей и принципов конструирования электрических устройств воздействия на топливо и электрокаплеструйных форсуночных модулей; математических электрогидродинамических моделей сообщения униполярного электрического заряда потоку авиационного топлива (керосину) и переноса электрического заряда закрученным потоком топлива на выход топливной форсунки; методологии уточнения инжекционной модели образования униполярного заряда в керосине в резко неоднородном электрическом поле; математической модели влияния

униполярного заряда на эффективное поверхностное натяжения капли углеводородного топлива; методики численного моделирования процессов распада жидкой пленки в пневматической форсунке с численным исследованием влияния конструктивных параметров на распыл топлива пневматической форсункой. Представлены также результаты суперкомпьютерного моделирования с верификацией экспериментом электрогидродинамических процессов распыла керосина и горения керосино-воздушной смеси при огневых испытаниях электрокаплеструйных форсуночных модулей на современном экспериментальном оборудовании.

Опубликованные теоретические и экспериментальные результаты получены соискателем лично или при его непосредственном участии.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Колодяжный Д.Ю. Перенос заряда в резко неоднородном электрическом поле закрученным потоком жидкости с минимальным гидравлическим сопротивлением / В.С. Нагорный, А.А. Смирновский, А.С. Чернышев, Д.Ю. Колодяжный // Письма в Журнал технической физики. 2015. Т. 41, вып. 17. С. 94-102.

2. Колодяжный Д.Ю. Экспериментальные исследования влияния электрического поля на параметры сгорания керосиновоздушной смеси / Д.Ю. Колодяжный, В.С. Нагорный // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2015. – № 4. С. 73–76.

3. Колодяжный Д.Ю. Сообщение электрического заряда каплям углеводородных топлив в резко неоднородном электрическом поле в форсуночных модулях / Д.Ю. Колодяжный, В.С. Нагорный // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2016. – № 3. С. 100–105.

4. Колодяжный Д.Ю. Методика численного моделирования процесса распада жидкой пленки в пневматической форсунке авиадвигателя /

Д.Ю. Колодяжный, В.С. Нагорный, А.М. Сипатов, В.Я. Модорский // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2017. № 1. С. 91-97.

5. Колодяжный, Д.Ю. Экспериментальные исследования влияния электрического поля на скорость продуктов сгорания керосино-воздушной смеси / В.С. Нагорный, Д.Ю. Колодяжный. // Вестник Московского авиационного института. 2016. – Т. 23. № 1. С. 56 – 66.

6. Колодяжный Д.Ю. Экспериментальные исследования влияния электрического поля на химический состав продуктов сгорания керосиновоздушной смеси / Д.Ю. Колодяжный, В.С. Нагорный. // Вестник Московского авиационного института. 2015. – Т. 22. № 4. С. 42-49.

7. Колодяжный Д.Ю. К вопросу о влиянии электрического заряда на поверхностное натяжение капель топлива на выходе форсунки //Д.Ю. Колодяжный, В.С. Нагорный, А.А. Смирновский. // Вестник Московского авиационного института. 2016.– Т. 23. № 4. С. 59–68.

8. Колодяжный Д.Ю. Влияние электрического поля на распределение температуры продуктов сгорания керосино-воздушной смеси/ Д.Ю. Колодяжный, В.С. Нагорный. // Вестник Московского авиационного института, 2017. – Т. 24. № 1. С. 57 – 62.

9. Колодяжный Д.Ю. Расчетное исследование влияния конструктивных параметров на характеристики распыла топлива пневматической форсункой / А.М. Сипатов, В.Я. Модорский, А.В. Бабушкина, Д.Ю. Колодяжный, В.С. Нагорный. // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2017. – № 3. С. 101– 105.

10. Kolodyazhny D.Yu. Numerical simulation of the flow in the fuel injector in the sharply inhomogeneous electric field / V.S. Nagorniy, A. A. Smirnovsky, A.S. Tchernysheff, D.Yu. Kolodyazhny // Procedia Computer Science. 2015. V. 51. Issue 1. P. 1219-1228.

11. Пат. 2582376 Российская Федерация, МПК F02М, F02В. Способ повышения эффективности распыла топлива [Текст] /Нагорный В.С., Колодяжный Д.Ю.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский

государственный политехнический университет (RU). – № 2014149364; заявл. 05.12.2014; опубл. 27.04.2016. Бюл. № 12. – 11 с.: ил.

12. Пат. 2562505 Российская Федерация, МПК F02M, F02B. Способ повышения эффективности распыла топлива [Текст] / Нагорный В.С., Колодяжный Д.Ю., Марчуков Е.Ю., Фёдоров С.А., Пщелко Н.С.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (RU). – № 2013156223; заявл. 17.12.2013; опубл. 10.09.2015. Бюл. № 25. – 11 с.: ил.

13. Пат. 2571990 Российская Федерация, МПК B64D. Способ повышения эффективности сгорания топлива в двигателе самолёта [Текст] /Нагорный В.С., Колодяжный Д.Ю.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (RU). – № 2014139313; заявл. 29.09.2014; опубл. 27.12.2015. Бюл. № 36. – 8 с.: ил.

14. Пат. 2615618 Российская Федерация, МПК F02M. Топливная форсунка газотурбинного двигателя [Текст] / Нагорный В.С., Колодяжный Д.Ю., Сипатов А.М., Хрящиков М.С., Семаков Г.Н.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (RU). – № 2015154585; заявл.18.12.2015; опубл. 05.04.2017. Бюл. № 10. – 16 с.: 2 ил.

15. Пат. 2634649 Российская Федерация, МПК F23D. Топливная форсунка [Текст] / Нагорный В.С., Колодяжный Д.Ю., Сипатов А.М., Хрящиков М.С., Семаков Г.Н.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (RU). – № 2016144987; заявл.16.11.2016; опубл. 02.11.2017. Бюл. № 31. – 18 с.: 3 ил.

16. Пат. 2636947 Российская Федерация, МПК F02M. Топливная форсунка авиационного двигателя [Текст] / Нагорный В.С., Колодяжный Д.Ю.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (RU). – № 2016147548; заявл.05.12.2016; опубл. 29.11.2017. Бюл. № 34. – 19 с.: 2 ил.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все отзывы положительные).

Отзыв ведущей организации, публичного акционерного общества «ОДК-Сатурн», содержит замечания.

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.

Отзыв официального оппонента д.т.н., профессора Лепешинского Игоря Александровича содержит замечания:

1. отсутствие перечня обозначений и используемых автором сокращений затрудняет знакомство с работой, причём иногда одни и те же параметры обозначены разными буквами;
2. наличие повторов ранее изложенной информации в последующих главах;
3. в работе не рассматривается зона обратных токов, которая является принципиальным элементом, обеспечивающим стабилизацию фронта пламени в основных камерах сгорания, и которая влияет на конечные результаты сжигания топлива. Изменение угла распыла форсунок при подаче напряжения свидетельствует о деформации зоны обратных токов;
4. отсутствует оценка использования предлагаемых устройств, которая важна поскольку эти устройства устанавливаются на авиационный двигатель.

Отзыв официального оппонента д.т.н., профессора Мясникова Юрия Николаевича содержит следующие замечания:

1. По форме изложения текста диссертации:

- автор широко применяет условные обозначения, что затрудняет чтение текста из-за отсутствия их расшифровки в начале изложения содержания диссертации;

- целесообразно было бы Акты внедрения разместить в приложении к диссертации, а не отдельными документами в материалах к диссертации;

- нельзя не отметить неудачные повторы и синтаксические обороты при изложении материала исследования.

2. По существу исследования:

- автор убедительно показал при испытаниях на реальных камерах сгорания авиадвигателей, что использование электрических полей в форсуночных модулях улучшает характеристики распыла топлива и сгорания топливно-воздушной смеси, что приводит к снижению эмиссии вредных веществ. При этом, в качестве показателей использовал уменьшение СО в выхлопных продуктах и уменьшение концентрации несгоревших углеводородов. По мнению оппонента, этого недостаточно, так как основными характеристиками камеры сгорания являются коэффициент полноты сгорания топлива и неравномерность поля температур на выходе из камеры сгорания и безусловно содержание в выхлопных газах CO_2 . Из камеры сгорания должен выходить химически нейтральный газ. Это один из важных её параметров – параметр завершённости горения.

Отзыв официального оппонента д.т.н., профессора Ремизова Александра Евгеньевича содержит замечания:

1. Замечания по оформлению и структуре диссертации.

1.1. В тексте диссертации отсутствует перечень принятых обозначений, а также некоторые формулы не сопровождаются расшифровкой входящих в них величин, что затрудняет анализ работы;

1.2. По тексту диссертации часть формул набраны в стандартном редакторе, а часть вставлены в текст как картинка. В результате одни и те же

параметры и индексы обозначаются различными шрифтами, что вносит путаницу в восприятие текста;

1.3. Первая глава посвящена анализу научно-технической литературы по основным разделам диссертационной работы. Кроме того, в каждой главе содержится анализ публикаций по теме главы, который во многом повторяет содержание первой главы и существенно увеличивает объём диссертационной работы.

2. Замечания по содержанию диссертации.

2.1. Раздел 1.1 содержит информацию о способах и устройствах, повышающих эффективность горения исключительно в двигателях внутреннего сгорания, в то время как вся диссертация посвящена авиационным газотурбинным двигателям. Раздел 1.3 содержит чрезмерную информацию о конструкции и принципах работы известных пневматических и центробежных форсунок, которая не имеет ни научной, ни практической новизны;

2.2. В разделе 2.4.1 не приводятся количественные характеристики сетки, изображённой на рисунке 2.23, поэтому невозможно по одному внешнему виду расчётной сетки сделать заключение о ее соответствии инжекционной модели образования униполярного электрического заряда в углеводородном топливе. В этом же разделе на рис. 2.25 одна цветовая гамма соответствует различным шкалам давления, поэтому сравнивать распределение давления непосредственно по рисунку невозможно;

2.3. Раздел 3.2, где формулируется стратегия исследований и разработок электрокаплеструйных форсуночных модулей, состоящая из десяти этапов, не содержит ни одного критерия достижения результата соответствующего этапа этой стратегии;

2.4. В тексте четвёртой главы встречаются ссылки на собственные работы автора (например, на стр. 295 и 356), после чего кратко излагается содержание статьи без подтверждения этой информации фактическими данными в виде таблиц, рисунком и др. Поэтому рецензент вынужден искать текст статьи, что чрезмерно осложняет процесс изучения материала;

2.5. Не понятно, почему в разделе 5.1 не была предпринята попытка оптимизировать распределение объёмного заряда за счёт изменения шага установки пластин одного из электродов и зазора между электродами, причём результат такой оптимизации можно согласовать с расчётом гидравлического сопротивления устройства воздействия на топливо, как элементом топливной системы двигателя;

2.6. Каким образом результаты, представленные в шестой главе для модельной трубчатой жаровой трубы камеры сгорания, могут быть перенесены на кольцевую жаровую трубу двигателя ПД-14?

3. Замечания по выводам.

3.1. Выводы по некоторым главам, в ряде случаев, носят частный характер. Например, по первой главе сформулировано 19 выводов, причём выводы 1,5,6,7,10 и 19 носят декларативный характер, в выводах 2,3 и 9 присутствует простая констатация фактов, а выводы 14,15 и 16 можно объединить в один. В четвёртой главе выводы 4 и 8 почти полностью совпадают, а количество статей и докладов на конференциях, о которых говорится в пункте 11 вообще нельзя отнести к выводам по главе диссертации;

3.2. По мнению оппонента, общие выводы по диссертации (их сформулировано в заключении 17) должны строго соответствовать решаемым в диссертации задачам (их во введении сформулировано 9).

Отзыв на автореферат диссертации Полянского В.А., д.ф.-м.н., проф., заведующего лабораторией 111 физико-химической гидродинамики НИИ Механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова содержит следующие замечания:

1. На стр. 16 автореферата в предложении что «капля... приобретает электрический заряд, равный 90% от своего предельного значения за время 0,1-0,2 с нахождения в поле коронного разряда», допущена, по-видимому, неточность, приводящая к противоречию с формулой (1), где в подкоренном выражении получается при этом отрицательное число. Здесь вместо «... предельного

значения» правильнее было бы написать «установившегося значения для данной напряженности поля»;

2. Линейное по полю соотношение для униполярной инжекции, принятое в работе, является эмпирическим. Входящие в него константы определяются по экспериментальной вольтамперной характеристике из решения обратной задачи, которая может быть некорректной. Следовало бы указать диапазон напряженностей поля, для которого получается хорошее совпадение расчётов с экспериментом.

Отзыв на автореферат диссертации Румянцева В.И., к.т.н., генерального директора ООО «Вириал» содержит замечания:

1. Было бы желательно сформулировать сущность «впервые разработанной и реализованной технологии получения и обработки электроизоляционных керамических деталей» (стр. 19). Тем более, что основной принцип технологии керамики – спекание предварительно сформированной дисперсной системы – известен достаточно давно.

2. Не ясно, что такое «игольчатые диски из однонаправленного пористого материала» (стр. 24).

3. В тексте встречаются неудачные выражения и опечатки. Например, «степень закрутки керосина» (стр. 7), «углеродные топлива» (стр. 15), 3-й абзац на стр. 29. («Все вышеперечисленное...»).

Отзыв на автореферат диссертации Стишкова Ю.К., д.ф.-м.н., профессора кафедры «Радиофизика» Физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета содержит замечания:

1. Автор использует для численных расчётов ANSYS CFX, однако для решения задач электрогидродинамики обычно используется программный комплекс Comsol Multiphysics. Из автореферата непонятно насколько это оправдано.

2. Инжекционный механизм существенно зависит от примесных добавок. Однако в автореферате этому не уделено должного внимания.

3. В автореферате указано, что «электрическое поле, создаваемое в топливе, может быть однородным переменным, резконеоднородным постоянным, переменным с изменяющейся частотой», однако от этого существенно зависит интенсивность инжекции, а, следовательно, и плотность объёмного заряда топлива.

Отзыв на автореферат диссертации Крамаря В.А., д.т.н., проф., профессора кафедры «Информатика и управление в технических системах» Севастопольского государственного университета содержит замечание:

В автореферате нет ссылок на современные российские и зарубежные исследования по рассматриваемой в диссертации теме.

Отзыв на автореферат диссертации ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова», составленный Васильевым А.Ю., к.т.н., заместителем начальника отдела камер сгорания и утверждённый Ножницким Ю.А., д.т.н., заместителем генерального директора, содержит замечания:

1. Можно ожидать, что предложенные в диссертации подходы и устройства будут эффективны прежде всего для расширения границ запуска газотурбинных двигателей в высотных условиях. Кроме того, предлагаемые диссертантом устройства могут обеспечить повышение полноты сгорания топлива на дроссельных режимах работы двигателя (до малого газа включительно). С повышением режима работы газотурбинного двигателя полнота сгорания топлива в современных камерах сгорания достигает значений более 99% и дальнейшее улучшение качества распыла не будет давать ощутимого вклада в эффективность процесса горения.

2. Кроме того, в автореферате имеется ряд опечаток и неточностей

2.1. В разделе, обосновывающем актуальность исследования, диссертант неоднократно делает отсылки на высокие экологические требования к современным двигателям. При этом отмечается, что обеспечение качественного распыла является ключевой задачей для обеспечения необходимых эмиссионных характеристик. Требуется пояснить, что само по себе улучшение распыла не позволяет улучшить эмиссию NO_x , снизить число дымности или уменьшить выброс

нелетучих частиц (как это требуется нормами Международной организации гражданской авиации (ИКАО) с 2017 года). Это возможно только на основе сочетания выбора соответствующей схемы сжигания топлива (например, с обеднением смеси), организации качественного перемешивания топлива с воздухом и обеспечения высокого качества распыла, что и необходимо было отметить в автореферате диссертации.

2.2. На первой странице автореферата автором диссертации допущена опечатка. Утверждается, что повышение температуры газа на 315 К от двигателей 4-го поколения к двигателям 5-го поколения соответствует 42°C. Очевидно, что изменение температуры будет составлять 315°C. Имеются также опечатки в термине «камера подогрева воздушного газового стартера» на стр. 4 и 10 автореферата.

2.3. В автореферате рецензируемой диссертации указано, что в результате внедрения в конструкцию форсунки дополнительных токопроводящих и керамических изолирующих вставок, качество распыла топлива (оцениваемое по диаметру капель) улучшилось на 8%. Надо отметить, что погрешность измерения современных лазерно-оптических методов по данному параметру сопоставима с этой величиной и составляет не менее 5% в «идеальных» условиях. Загромождение потока газа за диффузором клеммами и защищенными токопроводящими жилами обусловит необходимость перепроектирования входной части камеры сгорания в сторону увеличения размеров. Целесообразность введения подобных мероприятий ради улучшения мелкости дробления топлива на несколько процентов представляется сомнительной.

2.4. Прочностные характеристики многослойной конструкции металл-керамика-металл в условиях циклического нагрева и охлаждения, воздействия жидкого топлива и вибраций должны быть исследованы дополнительно.

Отзыв на автореферат диссертации Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, составленный Сеньковым А.П., д.т.н., профессором и утвержденный Никущенко Д.В., д.т.н., профессором, проректором по научной работе, содержит одно замечание:

В автореферате диссертации приводится информация о том, что были «разработаны технологии повышения эффективности распыла жидкого топлива и горения топливно-воздушной смеси с использованием резко неоднородных постоянных и переменных электрических полей и их совместного использования», но не приведена информация о том, какого вида электрическое поле наиболее целесообразно использовать.

Отзыв на автореферат диссертации Владыкина А.В., к.т.н., заместителя начальника центра прогрессивных технологий «ОДК-ПМ» содержит замечания:

1. В автореферате некорректно указано соответствие приращения температуры газа перед турбиной двигателя четвертого и пятого поколения в кельвинах и градусах.

2. Из автореферата неясно влияние электрического воздействия в системе анод-топливо-катод на разрушение электродов.

3. Из автореферата неясно влияние расстояния между электродами на эффективность работы электрокаплеструйной системы.

Отзыв на автореферат диссертации Гейкина В.А., д.т.н., профессора, заместителя генерального директора «Объединённая двигателестроительная корпорация» – руководителя приоритетного технологического направления «Технологии двигателестроения» содержит замечания:

1. В автореферате не указаны реальные марки авиационного керосина, с применением которых проведены исследования;

2. В соответствии с предложенной технологией динамического конструирования при проектировании и изготовлении узлов и деталей газотурбинного двигателя целесообразно было бы представить руководство по ее использованию.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников Института теплофизики Сибирского отделения РАН – Марковича Д.М., д.ф.-м.н., академика РАН, директора института и Терехова В.В., д.ф.-м.н., профессора, зав. лабораторией термогазодинамики – содержит замечания:

1. В автореферате имеется ряд неточностей и опечаток. В нём, по сути, отсутствует наглядное (в виде графиков, диаграмм и т.п.) представление полученных результатов.

2. Имеющийся мировой опыт исследований в области повышения эффективности авиадвигателей вообще, и в задачах оптимального распыла топлива, в частности, представлен достаточно скупо.

3. Автор в своей работе использует целый ряд пакетов вычислительной газодинамики. Так в главе 2 использован ANSYS/CFX, в четвертой главе OpenFOAM, в пятой ANSYS/Fluent, а в шестой автор возвращается к CFX. Чем обусловлен столь широкий спектр использованных инструментов численного моделирования?

Отзыв на автореферат диссертации Филиппова П.Г., д.ф.-м.н., профессора, сотрудника Госкорпорации «Ростех» замечаний не содержит.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Омского государственного технического университета - Реченко Д.С., д.т.н., профессора кафедры и Попова А.Ю., д.т.н., проф., заведующего кафедрой – содержит следующие замечания:

1. В автореферате не приведены научные закономерности влияния на процесс распыла и сгорания топлива конструктивных, электрогидродинамических, гидродинамических и электрических параметров, указанные в задачах.

2. В автореферате излишне приведен список публикаций в других изданиях.

3. Из автореферата не ясно в чем заключаются разработанные методы повышения эффективности электризации углеводородных топлив и топливно-воздушных смесей и математические модели электрогидродинамических процессов сообщения униполярного электрического заряда углеводородным топливам в резко неоднородном электрическом поле электрическим устройством воздействия на топливо.

Отзыв на автореферат диссертации АО «Металлист-Самара», составленный Цыбизовым Ю.И., д.т.н., профессором, ведущим конструктором, Федорченко Д.Г.,

к.т.н., доцентом, главным конструктором и утвержденный Глебовским М.К, исполнительным директором АО «Металлист-Самара», содержит замечания:

1. На основании разработанной «технологии Динамического конструирования» должно быть представлено руководство для конструкторов как итоговый результат, содержащий четкие и конкретные рекомендации для проектирования и изготовления соответствующего оборудования.

2. Основной характеристикой камеры сгорания, отражающей физику явлений процесса горения, является коэффициент форсирования K_v (критерий В.Е. Дорошенко). В связи с чем, электрофизическое воздействие на топливо как результат благоприятных условий горения применительно к авиационному двигателю следовало бы связать с уточнением общепринятой оценки совершенства камеры сгорания в виде коэффициента K_v .

3. Текст автореферата содержит излишнюю концентрацию слова «Впервые» (только на стр. 28...30 использовано 6 раз) и излишнюю пафосность («мировая новизна», «научная ценность» и т.д.).

Отзыв на автореферат диссертации ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова», составленный Барановским В., д.т.н., проф., профессором кафедры «Управление эксплуатацией и развитием корабельной неатомной энергетики», Казариновым С., к.т.н., капитаном 1 ранга, начальником этой кафедры и утвержденный Соколовым В., начальником ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», вице-адмиралом содержит следующие замечания:

1. Первая глава диссертации посвящена анализу состояния и путей повышения эффективности распыла и горения топлива авиационных двигателей, однако в автореферате нет основных результатов указанного анализа, представлены только выводы.

2. В автореферате не отображена информация по точности и достоверности разработанной автором формулы (1) – зависимости эффективного поверхностного натяжения капли топлива от величины униполярного заряда, положенной в основу дальнейших расчётов.

3. В автореферате не представлены даже фрагменты разработанных и исследованных автором математических моделей и методов численного расчёта процессов горения керосино-воздушной смеси в КС, на которые ссылается автор.

Отзыв на автореферат диссертации Симонова С.А., заместителя управляющего директора – и.о. технического директора ПАО «ОДК-УМПО» содержит следующие замечания.

1. Повышение температуры в камере сгорания в сочетании с электризацией топливно-воздушной смеси будет способствовать росту содержания в продуктах горения оксидов азота. Однако на стр. 29 и 32 автореферата автор, обсуждая эмиссионные характеристики, упоминает только о снижении содержания СО и несгоревших углеводородов, а данные об изменении содержания оксидов азота под воздействием электрического поля не приводит.

2. Автор не поясняет, почему в разных разделах своей работы он использует для расчётов значительно различающиеся величины удельного расхода керосина через форсунку: 40 л/ч (0,00867 кг/с); 0,007725 кг/с и 0,005567 кг/с (стр. 22, 24 и 25 автореферата соответственно).

3. На стр. 6 автореферата автор упоминает о защите результатов работы 6 патентами РФ, в то время как фактически их выдано 7 (см. п.п. 16...22 в разделе «Список работ...»).

Отзыв на автореферат диссертации Нихамкина М.Ш., д.т.н., профессора Пермского национального исследовательского политехнического университета содержит одно замечание:

Из автореферата осталось непонятным, сохраняется ли эффективность распыла в процессе длительной эксплуатации двигателя, так как тонкостенные электроды, установленные внутри форсунки, подвергаются воздействию топливно-воздушной смеси при высоких температурах.

Отзыв на автореферат диссертации АО «ММП имени В.В. Чернышева», составленный Пановым В.А., к.т.н., заместителем технического директора и утвержденный Хакимовым А.А., управляющим директором, замечаний не содержит.

Отзыв на автореферат диссертации Каляева И.А., д.т.н., академика РАН, главного научного сотрудника НИИ многопроцессорных вычислительных систем Южного федерального университета, профессора Южного Федерального университета содержит замечание:

Автор утверждает, что разработанные им численные модели ориентированы на суперкомпьютерные вычисления. Не вызывает сомнения, что использование суперкомпьютерных вычислений – это самый эффективный подход к конструированию электрокаплеструйных форсуночных модулей и электрических устройств воздействия на топливо. Однако, в автореферате не представлены результаты исследований эффективности распараллеливания разработанных численных моделей при их реализации на суперкомпьютерах различных классов.

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва – Лукачёва С.В., д.т.н., проф., заведующего кафедрой теплотехники и тепловых двигателей (ТиТД) и Диденко А.А., к.т.н., с.н.с., научного руководителя лаборатории лазерной диагностики структуры потока НОЦ ГДИ, доцента кафедры ТиТД – содержит замечания:

1. В автореферате (с. 4) и во Введении в диссертации тенденции развития параметров авиационных двигателей иллюстрируются только в росте температуры газа в среднем «всего лишь на 315 К и борьба идёт за каждый градус», но это значительное увеличение T_g^* . Возникает вопрос: почему ничего не сказано о $p_k \Sigma^*$, m , КПД узлов, определяющих параметры на входе в камеру сгорания, материалах и т.п.?

2. На стр. 169 диссертации говорится, что в расчётной задаче используется трансформаторное масло. Возникает вопрос, насколько оправдано рассматривать случай с рабочей жидкостью, далёкой по свойствам от авиационного керосина?

3. На стр. 288 в диссертации, ссылка на [275]: говорится о поведении поверхности капли диаметром 5 мм, находящейся между электродами,

погруженными в ньютоновскую жидкость. Вопрос: является ли рассмотрение этого примера актуальным для камер сгорания авиационных двигателей?

4. Стр. 301 в диссертации (последний абзац) «...концентрация ионов настолько мала, что влиянием ионов на физические свойства жидкости можно пренебречь». Возникают вопросы, насколько это обосновано для применяемых в работе электрических устройств воздействия на топливо и для задачи точного учёта измерения физических свойств рабочей жидкости?

5. Рисунок 4.23 диссертации (говорится о плотности ионов \bar{I} на выходе из форсуночного модуля): из рисунка видно, что $\bar{I}_{\text{вых.}} \approx 0,2$ для выходящих из форсуночного модуля ионов и $\bar{I}_{\text{нейтр}} \approx 0,8$ для ионов, нейтрализуемых на 2-ом электроде. А по тексту в диссертации говорится, что $\bar{I}_{\text{вых.}} \approx 0,8$. Т.е. текст противоречит данным на рисунке или это опечатка?

6. На с.404-405 диссертации анализируется график на рис. 5.36 изменения числа регистрируемых в единицу времени капель \dot{N}_k , шт./с. Говорится, что количество капель на радиусе 20-40 мм на два порядка больше, чем на оси и на три порядка больше, чем на периферии ($R > 45$ мм) факела, и далее делается заключение: «... попадание капель в центр и на периферию сечения носит скорее случайный характер и не разрешается при численном моделировании...». Возникает вопрос: почему случайный и почему нет ссылки на источник?

7. В диссертации сравнение распределения диаметров капель по радиусу, полученных в экспериментах и в расчётах, даётся в единственном месте – фрагментом на рис. 5.37. Замечание – опять график без ссылки на первоисточник. Возникает вопрос – можно ли представить сравнение с более полным ~~использованным~~ имеющимся у автора результатов численного моделирования и экспериментов?

Отзыв на автореферат диссертации сотрудников Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова – Есеева М.К., д.ф.-м.н., доцента, проректора по научно-инновационному развитию и Марьяндышева П.А., к.т.н., доцента, директора высшей школы энергетики, нефти и газа университета – содержит замечания:

1. В автореферате недостаточно представлены результаты численного моделирования процессов горения керосино-воздушной смеси. Не приведено распределение температур в поперечном и продольном сечениях камеры сгорания, полей образования CO_x , NO_x , SO_x .

2. Из текста автореферата неясно, каким образом происходило построение численной геометрической модели модельной камеры сгорания СамГТУ. Какое программное обеспечение использовалось для построения сетки? На какое количество ячеек была разбита сетка для последующего численного моделирования.

3. По тексту автореферата имеются опечатки и неточности в названии программного обеспечения. Так, на странице 27 использовалось программное обеспечение Ansys.

Отзыв на автореферат диссертации Юрьева В.Л., д.т.н., проф., генерального директора АО «Институт технологии и организации производства» содержит одно замечание:

В качестве недостатка считаю необходимым отметить, что вывод о подтверждении базовых положений теоретических моделей путем сравнительного анализа результатов численных расчётов и экспериментов, не в полной мере раскрыт в автореферате.

Отзыв на автореферат диссертации АО «Национальный центр вертолётостроения им. М.Л. Миля и Н.И. Камова», составленный Сторожевым М.А., главным конструктором по двигателям и их системам и утвержденный Короткевичем М.З., исполнительным директором, замечаний не содержит.

Отзыв на автореферат диссертации Алтунина В.А., д.т.н., профессора кафедры «Теплотехника и энергетическое машиностроение» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ содержит следующие замечания:

1. Из автореферата видно, что соискатель недостаточно широко провёл обзор и анализ научно-технической и патентно-лицензионной литературы по теме диссертации. Отсутствует анализ существующих электрораспыливающих систем

различных жидкостей, в том числе, и углеводородных. Отсутствует анализ проблем форсунок двигателей и энергоустановок ЛА, КЛА (ВРД, ЖРД и др.). Не рассмотрены пути повышения эффективности существующих и перспективных форсунок. Не проанализированы существующие и перспективные способы борьбы с аномальными тепловыми процессами в двигателях (в форсунках, фильтрах, каналах) на жидких углеводородных и охладителях.

2. В автореферате, на стр. 13 (второй абзац) автор утверждает, что «Применительно к авиационным двигателям использование электрических полей для повышения эффективности распыла сгорания керосина рассматривается в данной диссертации впервые». Однако это далеко не так. Существует много опубликованных отечественных работ и изобретений, в том числе, и для двигателей летательных аппаратов, на жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителях, где электрические поля применяются:

а) для полной предтопливной подготовки (для смешения, ионизации и гомогенизации одного или сразу двух и более жидких углеводородных топлив), которую организуют: вне ЛА в специальных баках с дальнейшей заправкой (перед полётом); внутри ЛА перед двигателем (в специальных баках) перед полётом или в ходе полёта; внутри двигателя (в кольцевой камере, в топливных каналах, в форсунках) – эти способы позволяют повысить качество, экологичность и полноту сжигания жидкого углеводородного горючего;

б) для борьбы с осадкообразованием (экспериментально установлено, что электростатические поля способствуют предотвращению осадкообразования в топливно-охлаждающих каналах и форсунках);

в) для интенсификации теплоотдачи к жидким углеводородным горючим и охладителям (экспериментально обнаружено, что электростатические поля способствуют повышению коэффициента теплоотдачи к жидким углеводородным горючим и охладителям до 650%, что очень важно, в том числе, и для организации борьбы с осадкообразованием);

г) для осуществления борьбы с термоакустическими автоколебаниями давления в рубашках охлаждения ЖРД и других двигателей и энергоустановок ЛА, КЛА;

д) для осуществления движения жидкого углеводородного горючего в топливно-охлаждающих каналах с дальнейшим электрораспылом (в аварийных случаях при отказе основной насосной системы ЛА, КЛА);

е) для осуществления контроля за тепловыми процессами в двигателях и энергоустановках ЛА, КЛА, (возможно совмещение рабочих соосных игл для наружного ионизационного контроля процесса горения с процессом электрораспыла);

Необходимо отметить, что каждое вышеописанное направление применения электростатических полей в жидких (и в газообразных) углеводородных горючих и охладителях ведёт к улучшению распыла, к полноте и экологичности сжигания, к повышению эффективности двигателей и энергоустановок ЛА, КЛА.

Специально для соискателя – (см. статьи:

- в журналах «Известия вузов. Авиационная техника»:

№2 за 1995 г., статья авторов Дрегаллина А.Ф., Алтунина В.А., Павлова О.Ю. и др. «Исследование возможности интенсификации процессов теплоотдачи и предотвращения осадкообразования в энергетических установках экранопланов»;

№2 за 1998 г., статья авторов Дрегаллина А.Ф., Алтунина В.А. и др. «Методика расчёта влияния электрического ветра на интенсификацию теплоотдачи и предотвращение осадкообразования в энергетических установках экранопланов»;

- в журнале «Известия вузов. Машиностроение»:

№10 за 2017 г. Статья авторов Алтунина В.А., Алтунина К.В., Алиева И.Н., Платонова Е.Н., Кохановой С.Я., Яновской М.Л. «Разработка способов борьбы с термоакустическими автоколебаниями давления в топливно-

охлаждающих каналах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов наземного, воздушного, аэрокосмического и космического применения»;

- в журнале «Инженерно-физический журнал»: Том 85, №4, статья авторов Алтунина В.А., Алтунина К.В., Алиева И.Н., Гортышова Ю.Ф., Яновской М.Л. и др. «Анализ исследований электрических полей в различных средах и условиях»;

- в журнале «Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева»:

№3 за 2013 г., статья авторов Алтунина В.А., Алтунина К.В., Демиденко В.П., Обуховой Л.А., Платонова Е.Н., Яновской М.Л. «О необходимости учёта особенностей тепловых процессов в энергоустановках многократного использования на жидких углеводородных горючих и охладителях при создании систем контроля и управления авиационной, аэрокосмической и космической техники»;

№4 за 2013 г., статья авторов Алтунина В.А., Алтунина К.В., Обуховой Л.А., Платонова Е.Н., Яновской М.Л. «Некоторые пути повышения ресурса и надёжности двигателей и энергоустановок на жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителях наземного, авиационного, аэрокосмического и космического базирования»;

№1-2 за 2015 г., статья автора Алтунина К.В. «Повышение ресурса реактивных двигателей на жидких углеводородных горючих за счёт применения новых форсунок»;

- в журнале «Тепловые процессы в технике»:

Том 11. №10 за 2019 г., статья авторов Алтунина В.А., Алтунина К.В., Алиева И.Н., Яновской М.Л. и др. «Некоторые пути повышения эффективности жидких и газообразных углеводородных и азотосодержащих горючих для двигателей летательных аппаратов».

- в Трудах научных чтений РАН памяти К.Э. Циолковского по секции №2: «Проблемы ракетной и космической техники»:

в Трудах 51-ых чтений за 2016 г. (Опубл. В 2017 г.), статья авторов Алтунина В.А., Кохановой С.Я., Демиденко В.П., Платонова Е.Н. и др.

«Особенности тепловых процессов и их контроль в топливно-охлаждающих системах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов на жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителях»;

в Трудах 51-ых чтений на 2016 г. (Опубл. В 2017 г.) статья авторов Алтунина К.В., Новикова С.Н., Яновской М.Л. и др. «Влияние тепловых процессов в углеводородных горючих и охладителях на совершенствование конструктивных схем форсунок и каналов двигателей и энергоустановок летательных аппаратов».

См. некоторые патенты на изобретения РФ Алтунина В.А., Алтунина К.В., Яновского Л.С. и др.:

а) № 2155910. «Форсунка»;

б) № 2287715. «Способ повышения надёжности ЖРД одно- и многократного использования»;

г) № 2504843. «Способ определения конфигурации распространения силовых линий электростатических полей в жидких углеводородных средах»;

д) № 2452896. «Головка кольцевой камеры сгорания газотурбинного двигателя»;

е) № 2388966. «Форсунка»;

ж) № 2467195. «Способ прогнозирования осадкообразования в энергоустановках многократного использования на жидких углеводородных горючих и охладителях»;

з) № 2482413. «Способ предотвращения образования и роста углеродистых отложений на стенках теплообменных каналов»;

и) № 2504676. «Способ определения ресурса реактивного двигателя» и др.

3. Из автореферата видно, что соискатель, в основном, проводил исследования с электрическими полями – только по возможности распыла жидкого углеводородного горючего (см. рис. 1 на стр. 18), но в автореферате нет ни одного экспериментального графика и нет ни одной экспериментальной таблицы, где можно было бы оценить роль электрических полей (напряжений, рабочих участков - электродов, их конструктивных особенностей, расстояний между ними и т.д.) в

процессе уменьшения диаметра капель и в процессе повышения качества распыла, также отсутствуют результаты теоретических расчётов, поэтому нет возможности сравнения экспериментальных данных с теоретическими, полученных на суперкомпьютерах 21 века. То же самое относится и к исследованиям влияния электрических полей на зарядку (ионизацию) горючего в предфорсуночном канале (см. рис. 2 на стр. 23).

Более 50% текста автореферата занято словесным описанием программного обеспечения, разработкой методик расчётов и различных методологий.

4. Из автореферата неясно, какие, как и где электрические поля применялись в экспериментах..., какие источники электрических полей применялись в экспериментах, потому что кроме рис. 1 и рис. 2, нет конкретных и всесторонних схем и рисунков. Отсутствует также анализ эффективности существующих рабочих участков - электродов типа «Игла-игла», «Игла-плоскость», «Игла-кольцо», «Игла-сетка» и др., автор даже не описывает и не обосновывает, почему он выбрал именно такие электроды, а не другие. В тексте автореферата упоминается о системе «Игла-плоскость», а также о системе «Игла-плоскость с отверстием».

5. В автореферате соискатель пишет, что все эксперименты были проведены на жидком углеводородном горючем марки ТС-1, которое является диэлектриком. Но автором Алтуниным В.А. (автором этого Отзыва) ещё в 1995 году экспериментально было обнаружено и доказано, что при температуре $+40^{\circ}\text{C}$ во всех жидких углеводородных горючих появляются (+)(-) электрические заряды (т.е. горючие становятся электропроводными средами), а при температуре 100°C – появляются диполи, которые активно участвуют в негативном процессе осадкообразования. Как это учитывалось диссертантом (и учитывалось ли вообще) при написании формул, программ, методик и методологий по теме диссертации?

6. Из автореферата неясно, при каких конкретно температурах были проведены экспериментальные исследования? В автореферате написано, что жидкое углеводородное горючее марки ТС-1 применялось в широком диапазоне

эксплуатационных температур при полёте ЛА (значит, наверное, автор имел в виду температуры, например, от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$).

Но при температуре $+40^{\circ}\text{C}$ горючее ТС-1 уже становится электропроводной средой. А кроме того, при работе форсунок происходит нагрев всех деталей (а значит, и горючего) до температур 200°C . Т.е., в форсунках активно происходит ещё и негативных процесс осадкообразования. Конечно, возможно из-за новых применяемых материалов нагрев форсунки тормозился (этих сведений нет в автореферате), но всё равно возникает вопрос: как соискатель учитывал в своей работе (при проведении экспериментов и теоретических расчётов, при создании программ, методик и методологий) эти явления? Если соискатель не знаком с этими явлениями, то необходимо отметить, что частичное закоксовывание даже одной форсунки любого ВРД (ГТД, ГПВРД и др.) приводит к нерасчётному струйному распылу с дальнейшим прогаром жаровой трубы, пожаром и взрывом двигателя и всего ЛА.

Частичное закоксовывание нескольких форсунок, кроме того, приводит к потере тяги. Полное закоксовывание – к полной потере тяги, к образованию течи в системе топливоподдачи, к пожару и взрыву.

Например, штатная форсунка ВРД марки НК-8-2У самолёта Ту-154 полностью закоксовывается через 900 циклов (часов) работы, циклом необходимо считать запуск – останов двигателя даже без фазы полёта ЛА (при обслуживании с запуском двигателя).

Экспериментально установлено, что твёрдые углеродистые отложения образуются не только на металлических деталях топливных каналов и форсунок, но и на неметаллических – этот факт заставляет более внимательно рассмотреть рисунок 1 на стр. 18 автореферата, где показана впервые созданная форсунка для двигателя 5 поколения марки ПД-14.

Видно, что никаких существующих и перспективных систем защиты от осадкообразования в каналах форсунки там нет. А это означает, что ресурс данной новой форсунки – весьма ограничен, да ещё и неизвестен.

А что будет происходить при частичном закоксовывании каналов (или хотя бы одного канала) в этой новой форсунке – тоже неизвестно, хотя – прогнозировать возможно, т.е. это приведёт к негативным последствиям, независимо от того, чем и как будет осуществляться распыл жидкого углеводородного горючего.

Нужны полномасштабные (в том числе и по времени эксплуатации) экспериментальные исследования, которые заставят разработчиков и исследователей создавать более совершенные конструктивные схемы форсунок, в которых будут заложены многообразные существующие и перспективные способы защиты форсунки от осадкообразования – уже на ранней стадии проектирования.

Тот же вопрос возникает и при рассмотрении предфорсуночного канала (базового электрического устройства воздействия на топливо), показанного на рис. 2 на стр. 23, где также отсутствуют способы и методы борьбы с осадкообразованием.

7. Из автореферата неясно, как соискатель в своих исследованиях учитывает скорость продувки воздуха через форсунку. Дело в том, что существуют граничные скорости прокачки газов (и воздуха), при которых влияние электрических полей сводится к нулю.

Например, экспериментально (Алтуниным В.А.) установлено, что при прокачке газообразного метана с массовой скоростью $120 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$ и более – поперечные поля системы «Игла-игла» уже не влияют ни на какие тепловые и гидро- (газо) динамические процессы, т.к. все электрические заряды уносятся потоком газа.

В автореферате нет данных о скорости воздуха в канале форсунки и на выходе из форсунки.

8. Из автореферата неясно, как соискатель в своих исследованиях учитывает скорость прокачки жидкого углеводородного горючего в каналах форсунки, из автореферата неясно какая конкретно скорость прокачки ТС-1 была в каналах форсунки (см. рис. 1 на стр. 18), а также в топливопроводящем канале перед форсункой (где тоже расположены рабочие участки с электрическими полями – см. рис. 2 на стр. 23) в ходе экспериментов.

Дело в том, что экспериментально (Алтуниным В.А.) установлено, что при скорости прокачки жидких углеводородных горючих более 6 м/с, например, электростатические поля не влияют на тепловые и гидро – (газо) динамические процессы, в том числе, и в ТС-1.

9. Из автореферата неясно, как учитывал (или не учитывал вообще) соискатель зоны насыщения, в которых дальнейшее повышение напряжения на рабочих участках не приводит к каким-либо увеличениям коэффициента теплоотдачи, к увеличению скорости прокачки (в случае электроконвекции) и к турбулизации потока горючего. Этот вопрос более всего касается предфорсуночного канала (см. рис. 2 на стр. 23), где режим работы электрических полей должен быть доискровым, т.е. до зоны насыщения. В автореферате отсутствуют конкретные данные о величинах подаваемых напряжений на рабочие участки и их предельных значениях, как на выходе из форсунки, так и в предфорсуночном канале (в проточной части базового электрического устройства воздействия на топливо).

10. Желательно и необходимо при проектировании, расчете, создании и эксплуатации новых двигателей и топливных форсунок, в частности, уже на ранней стадии проектирования комплексно учитывать все предполагаемые термодинамические состояния жидких углеводородных горючих и охладителей, все позитивные и негативные процессы, которые будут происходить в топливо-охлаждающих каналах двигателей и энергоустановок наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования, одно- и многоразового использования и двойного применения. Необходимо комплексно решать вопросы использования позитивных процессов и вопросы борьбы с негативными процессами. Нельзя однобоко решать только одну задачу при повышении эффективности, например, форсунок. Из автореферата следует, что соискатель, к сожалению, решал одну задачу в основном, только по повышению эффективности распыла горючего и его сжигания, не учитывая других проблем и возможностей.

11. В автореферате встречаются: орфографические ошибки (не дописаны окончания слов, неправильные окончания слов); на стр.6 сказано, что автор имеет

6 патентов на изобретение РФ, а на стр. 30 – написано – 7 патентов, что совпадает со списком его публикаций в конце автореферата.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетенцией в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Колодяжного Дмитрия Юрьевича, что подтверждается наличием у них публикаций по теме диссертации, в частности в рецензируемых изданиях.

Выбор Лепешинского Игоря Александровича, доктора технических наук, профессора кафедры «Теория воздушно-реактивных двигателей» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» в качестве официального оппонента обосновывается его широкой компетенцией в области теории и методов исследования двухфазных потоков с использованием лазерно-оптических методов. Лепешинский И.А. является автором и соавтором многочисленных научных трудов, посвященных системной оптимизации процессов в двухфазных потоках в соплах и струях.

Выбор Мясникова Юрия Николаевича, доктора технических наук, профессора, почётного судостроителя РФ, заслуженного деятеля науки РФ, главного научного сотрудника федерального государственного унитарного предприятия «Крыловский государственный научный центр» в качестве официального оппонента обосновывается его значительными научными достижениями в области альтернативных энергоносителей, судовых газотурбинных двигателей и методов оценки динамики рынка энергоносителей, результаты которых опубликованы в различных научных изданиях.

Выбор Ремизова Александра Евгеньевича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Авиационные двигатели» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва» в качестве официального оппонента обосновывается его большим опытом в области разработки и совершенствования перспективных

газотурбинных двигателей, в том числе с использованием методов численного моделирования. Эти вопросы рассмотрены в многочисленных трудах Александра Евгеньевича Ремизова.

Ведущая организация - Публичное акционерное общество «ОДК-Сатурн» - выбрана в соответствии с ее определяющей ролью в области проектирования, отработки и эксплуатации газотурбинных авиационных двигателей. Эта организация, обладающая широко известными достижениями в области двигателестроения, способна определить научную и практическую ценность диссертации. Эксперт конструкторского отдела перспективных разработок и экспериментальных исследований газотурбинных двигателей, доктор технических наук Богданов В.И., начальник ОКБ-1 – заместитель председателя научно-технического совета Бушманов В.В., и.о. генерального конструктора Афионов В.А., подписавшие отзыв, и заместитель генерального директора – управляющий директор ПАО «ОДК – Сатурн» Поляков В.А., утвердивший отзыв, являются известными учеными в области разработки газотурбинных двигателей и исследования протекающих в них процессов.

Оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют большое количество публикаций по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– разработана методология так называемого Динамического конструирования - создания эффективных узлов распыла топлива (электрокаплеструйных форсуночных модулей) применительно к газотурбинным авиадвигателям с использованием суперкомпьютерных вычислений на современных вычислительных кластерах при моделировании электрогидродинамических процессов распыла керосина и горения керосино-воздушной смеси с верификацией экспериментом результатов вычислений при огневых испытаниях на модельных и реальных камерах сгорания авиадвигателей, позволяющая выявить и выбрать характерные взаимосвязи между электрическими, электрогидродинамическими и

конструктивными параметрами электрокаплеструйных форсуночных модулей и обеспечить их патентоспособность и конкурентоспособность;

– предложены оригинальные методы электрогидродинамического воздействия электрических полей на закрученные потоки авиационного топлива (керосина), защищенные 6-ю патентами РФ, позволяющие улучшить параметры распыла топлива и сгорания топливно-воздушной смеси в авиационных двигателях;

– доказана перспективность использования новых электрогидродинамических методов управления распылом топлива и горением топливно-воздушной смеси в научно-прикладных исследованиях, подтвержденная результатами экспериментов на пятигорелочном отсеке газотурбинного авиадвигателя пятого поколения типа ПД-14 (снижается эмиссия вредных веществ – на режиме малого газа происходит уменьшение СО и несгоревших углеводородов НС в исходящих продуктах горения на 10,61% и 57,3%, соответственно, по сравнению с базой без электрического поля).

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

– применительно к проблематике диссертации эффективно использован разработанный метод конструирования электрокаплеструйных форсуночных модулей и электрических устройств воздействия на топливо;

– изложены положения и идеи, позволяющие описывать электрогидродинамические процессы и их математические модели в электрокаплеструйных форсуночных модулях при различных начальных условиях их функционирования;

– раскрыты проблемы использования широко применяемых в авиастроении вычислительных сред для решения электрогидродинамических задач распыла топлива и горения топливно-воздушной смеси;

– изучены связи между электрическими, электрогидродинамическими, гидродинамическими и конструктивными параметрами электрокаплеструйных форсуночных модулей, электрических устройств воздействия на топливо и их рабочими характеристиками;

– проведена модернизация применительно к керосину существующей математической модели инъекции униполярного заряда в диэлектрическую жидкость, а также доработаны для решения задач электрогидродинамики существующие вычислительные среды при численном анализе процессов в электрокаплеструйных форсуночных модулях.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– разработаны и внедрены в АО «ОДК – Авиадвигатель» и ОКБ им. А. Люльки применительно к газотурбинному авиационному двигателю пятого поколения типа ПД-14 и камере подогрева стартера воздушно-газового газотурбинного авиадвигателя технология конструирования, обеспечивающая патентоспособность и конкурентоспособность узлов распыла топлива с использованием суперкомпьютерных вычислений на современных вычислительных кластерах при электрогидродинамическом моделировании процессов распыла керосина и горения керосино-воздушной смеси с верификацией экспериментом разработанных на основании численных расчетов конструкций электрокаплеструйных форсуночных модулей на стенде 5-ти горелочного отсека для камер сгорания газотурбинных авиадвигателей;

– определены перспективы практического использования разработанной современной технологии конструирования на практике в ответствующих организациях и ВУЗах для эффективного применения знаний при проектировании конкурентоспособных изделий различного назначения, обеспечивающих заданные (требуемые) динамические показатели, с одновременным обеспечением конкурентоспособности;

– созданы современные методики расчета и проектирования электрокаплеструйных форсуночных модулей;

– представлены обобщенные методологические принципы разработки конструкций электрокаплеструйных форсуночных модулей, позволяющие выполнить их в модульно-блочном исполнении, объединить теоретический анализ влияния основных электрических, электрогидродинамических и конструктивных

параметров на статические и динамические характеристики рассматриваемых устройств (в том числе с целью их дальнейшего совершенствования).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– для экспериментальных работ при проведении огневых испытаний электрокаплеструйного форсуночного модуля в Самарском государственном техническом университете (СамГТУ) и АО «ОДК–Авиадвигатель» на модельных и реальных камерах сгорания газотурбинных авиадвигателей результаты получены с использованием сертификационного оборудования. При этом, при размещенном в цепи питания топливных форсунок электрическом устройстве воздействия на топливо вначале снимались характеристики распыла и горения без подачи электрического напряжения на электроды электрического устройства воздействия на топливо (база сравнения), а потом с его подачей при прочих одинаковых условиях;

– теория построена на известных уравнениях электрогидродинамики и доказанных моделях проводимости диэлектрической жидкости;

– использовано сравнение авторских данных, полученных при численном анализе процессов распыла керосина и горения керосино-воздушной смеси при суперкомпьютерных вычислениях, и известных и полученных автором экспериментальных данных;

– установлено совпадение полученных автором теоретических и экспериментальных результатов исследований процессов распыла керосина и горения керосино-воздушной смеси с использованием электрокаплеструйного форсуночного модуля и хорошее количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по влиянию униполярного электрического заряда на эффективное поверхностное натяжение капли углеводородного топлива;

– использованы современные автоматизированные и компьютеризированные средства сбора и обработки экспериментальной информации, представительные выборки результатов наблюдения и измерения.

Личный вклад соискателя состоит в:

– формулировке задач в предложенной в диссертации технологии конструирования по созданию научных основ расчета, реализационных основ и современного конструирования эффективных электрокаплеструйных форсуночных модулей с различного типа форсунками применительно к газотурбинным авиационным двигателям на примере авиадвигателя пятого поколения ПД-14 для гражданских самолетов и камеры подогрева стартера воздушно-газового боевого самолета;

– личном участии на всех этапах реализации технологии конструирования электрокаплеструйных форсуночных модулей и электрических устройств воздействия на топливо;

– личном участии в разработке и конструктивной реализации неоднородных электрических полей в электрокаплеструйном форсуночном модуле, технология получения и обработки изоляционных керамических деталей электрических устройств воздействия на топливо и электрокаплеструйных форсуночных модулей из корундоциркониевой керамики, представляющая самостоятельный научный и практический интерес не только для авиадвигателестроения, но и для других отраслей;

– непосредственном участии соискателя в получении исходных данных и научных экспериментах по распылу керосина и горению керосино-воздушной смеси при огневых испытаниях электрокаплеструйных форсуночных модулей на модельных и реальных камерах сгорания газотурбинных авиадвигателей с центробежными и пневматическими форсунками;

– непосредственной обработке и интерпретации экспериментальных данных, идентификации электрогидродинамических математических моделей исследуемых процессов распыла и горения;

– подготовке публикаций по основным результатам выполненной работы.

Диссертационная работа Колодяжного Д.Ю. является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения создания экологически чистых камер

сгорания газотурбинных двигателей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Эта работа удовлетворяет всем критериям Положения о присуждении ученых степеней, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени доктора наук.

На заседании 23 марта 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Колодяжному Д.Ю. учёную степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 20, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного
совета Д 212.125.08,
доктор технических наук,
профессор



Равикович Юрий Александрович

Учёный секретарь диссертационного
совета Д 212.125.08,
доктор технических наук,
профессор

Зуев Юрий Владимирович

23 марта 2020 г.

Начальник отдела УДС МАИ

Т.А. Анкина