

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.10,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 21 декабря 2023 г. № 12  
о присуждении Эрнандэсу Моралесу Марио, гражданину Мексиканских  
Соединённых Штатов, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка метода моделирования процессов нагрева и испарения капель многокомпонентного жидкого топлива в камерах сгорания авиационных газотурбинных двигателей» по специальности 2.5.15 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов принята к защите 17 октября 2023 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом 24.2.379.10, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34), приказом Минобрнауки России от № 229/нк от 14 февраля 2023г.

Соискатель Эрнандэс Моралес Марио, 04 февраля 1993 года рождения, в 2019 году освоил программу специалитета по специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», в 2023 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по направлению подготовки 24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь», работает в должности инженера-конструктора научно-

образовательного центра газодинамических исследований федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре теплотехники и тепловых двигателей федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Матвеев Сергей Геннадьевич, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей.

Официальные оппоненты:

Мингазов Биалал Галавтдинович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КИИ», профессор кафедры реактивных двигателей и энергетических установок;

Тесля Денис Николаевич, кандидат технических наук, военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), старший преподаватель кафедры авиационных двигателей,-

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», г. Рыбинск Ярославской области, в своём положительном отзыве, подписанном и.о. директора института «Авиационные технологии и инженерная физика» Гурьяновым Александром Игоревичем, доктором технических наук, профессором кафедры «Общая и теоретическая физика» и утверждённом профессором Евдокимовым Олегом Анатольевичем, доктором технических наук, профессором кафедры «Общая и теоретическая физика» указала, что диссертационная работа Эрнандеса Моралеса М. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи повышения

точности определения эмиссионных характеристик камеры сгорания на этапе проектирования и доводки авиационных ГТД на основе разработанного метода моделирования процессов нагрева и испарения капель многокомпонентного жидкого топлива в трёхмерной постановке. Рассматриваемая диссертация выполнена на высоком уровне, носит законченный характер и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, а её автор, Эрнандэс Моралес М., заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, в том числе, по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Суммарный объём принадлежащего соискателю опубликованного материала составляет 2,45 печатных листа. Из материалов совместных публикаций лично соискателю принадлежат: модель нагрева и испарения капель, учитывающая влияние скорости, многокомпонентного состава, внутренней диффузии компонентов и насыщенности пара на характеристики испарения капель; многокомпонентные суррогаты авиационного керосина, учитывающие физико-химические свойства, влияющие на процессы нагрева и испарения капель; методика формирования многокомпонентных суррогатов углеводородных топлив, позволяющая учитывать физико-химические свойства, влияющие на процессы нагрева и испарения капель. В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые работы:

1. Гураков, Н.И. Расчёт характеристик течения жидкого топлива при его подаче через центробежные форсунки малоразмерных газотурбинных двигателей [Текст] / Н.И. Гураков, И.А. Зубрилин, М. Эрнандэс Моралес, Д.В. Якушкин, А.А. Диденко, С.Г. Матвеев, Ю.В. Комисар // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. - 2021. Т. 20. №2. – Р. 19-35 (научная статья 2,125/0,5п.л.);

2. Gurakov, N.I. Validation of the VOF method for liquid spray process simulation from a pressure-swirl atomizer [Текст] / N.I. Gurakov, I.A. Zubrilin, V.Y. Abrashkin, M.H. Morales, D.V. Yakushkin, V.V. Yastrebov, O.V. Kolomzarov, D.V. Idrisov // AIP Conference Proceedings, 2020. – Р. 020031 (научная статья 0,625/0,15п.л.);

3. Hernandez Morales, V. A methodology for calculating the properties of aircraft kerosene surrogates that affect the atomization and evaporation characteristics [Текст] / M. Hernandez Morales, I.A. Zubrilin, S.G. Matveev, A.A. Didenko, V.M. Anisimov, K.D. Tsapenkov // 2021 International Scientific and Technical Engine Conference (ES), 2023. – P. 1-5 (научная статья 0,625/0,3п.л.);

4. Morales, M.H. Formation of surrogates of hydrocarbon fuels using the characteristics of their atomisation, heating, evaporation and combustion [Текст] / Mario H. Morales, Konstantin D. Tsapenkov, Ivan A. Zubrilin, Denis V. Yakushkin, Alexander S. Semenikhin, Sergei S. Sazhin, Sergei G. Matveev // Combustion science and technology, 2023 (научная статья 2,875/1,5п.л.).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от организаций: 1) Ассоциация «Союз авиационного двигателестроения», отзыв составлен и подписан Чуйко Виктором Михайловичем, д.т.н., президентом АССАД; 2) АО «ОДК-Климов», отзыв составлен и подписан Андреевым Владимиром Васильевичем, к.т.н., ведущим специалистом бригады камер сгорания и выходных устройств, и Бахыповым Максимом Тахировичем, инженером-конструктором I категории бригады камер сгорания и выходных устройств; 3) АО «Металлист-Самара», отзыв составлен и подписан главным конструктором к.т.н. Фёдорченко Дмитрием Геннадиевичем, ведущим конструктором д.т.н. Цыбизовым Юрием Ильичом; 4) ОКБ им. А. Люльки филиала ПАО «ОДК-УМПО», отзыв составлен и подписан начальником отдела КС, ФК и РС Федоровым Сергеем Андреевичем, инженером-конструктором I категории отдела КС, ФК и РС к.т.н. Ярмашем Александром Дмитриевичем; 5) ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», отзыв составлен и подписан заведующим кафедрой «Тяговый подвижной состав» к.т.н. Муратовым Алексеем Владимировичем, доцентом кафедры «Тяговый подвижной состав» к.т.н. Свечниковым Александром Александровичем; 6) ПАО «ОДК-Сатурн», отзыв составлен и подписан ведущим специалистом КБ отдела САУ к.т.н. Масленком Михаилом Валентиновичем; 7) ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», отзыв составлен и подписан заведующим кафедрой «Тепловая и топливная энергетика» д.т.н. Ковальноговым Владиславом Николаевичем; 8) ФГБУИ «Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук», отзыв составлен и подписан заведующим лабораторией кинетики процессов горения д.х.м. Шаковым Андреем Геннадьевичем; 9) ПАО «ОДК-Кузнецов», отзыв составлен и подписан ведущим специалистом ОИР СГК к.т.н. Хвацковым Борисом Евгеньевичем.

Критическими замечаниями в представленных отзывах являются: в работе используются зарубежные базы данных и программные продукты, но не указаны отечественные аналоги и их различия; не представлены данные о сравнении результатов 3D-расчётов основных параметров исследуемой камеры сгорания по полям, полноте, потерям, температуре стенок, выполненных по стандартным алгоритмам ANSYS и с использованием модели нагрева и испарения капель и методики формирования суррогатов топлива; отсутствует в результатах расчёта процесса горения с использованием разработанной технологии моделирования оценка погрешности изменения индекса и параметра эмиссии оксидов азота NOx; отсутствуют данные для более широкого диапазона изменения параметров давления и температуры на входе в камеру.

В полученных отзывах отмечено, что указанные замечания в целом не снижают высокой оценки работы, а сама диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Эрнандэсу Моралесу М. учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15– Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Выбор Мингазова Билала Галавтиповича в качестве официального оппонента обосновывается его компетенциями в следующих областях: исследование рабочих процессов в камерах сгорания газотурбинных двигателей; разработка основ практического применения теории турбулентного горения в камерах сгорания различного назначения; экспериментально-теоретическое исследование внутрикамерных процессов, позволяющих установить взаимосвязь основных характеристик камер сгорания и двигателя.

Выбор Тесля Дениса Николаевича в качестве официального оппонента обосновывается компетенциями в области исследований процессов в камерах сгорания, эффективной стабилизации пламени, расчёта характеристик распыливания; проектирования и моделирования форсажных камер сгорания.

Выбор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» в качестве ведущей организации обосновывается наличием специалистов, области компетенций которых связаны с проектированием камер сгорания силовых установок, математическими методами моделирования рабочих процессов силовых установок, математическими методами моделирования процессов горения, химмотологией и эмиссией вредных веществ.

**Диссертационный совет отмечает,** что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны:**

– метод моделирования процессов нагрева и испарения капель жидкого топлива в трёхмерной постановке, отличающийся комплексным учётом многокомпонентности капель, распределения концентрации компонентов внутри капли, насыщенности пара вокруг капли и относительной скорости движения капли;

– новая методика формирования суррогатов углеводородных топлив, отличающаяся от существующих учётом свойств, таких как теплоёмкость, теплопроводность и давление насыщенных паров, влияющих на процессы нагрева и испарения, а также учётом кривой дистилляции.

**предложены:**

– новый суррогат авиационного керосина, характеристики испарения которого соответствуют характеристикам испарения авиационного керосина с заданной точностью;

– новые экспериментальные зависимости характеристик испарения многокомпонентных жидких топлив (керосина и его суррогатов), показывающие изменение диаметра и температуры в приповерхностном слое капли от времени.

**доказана:**

– перспективность применения разработанного метода и суррогата для численного определения основных характеристик камер сгорания авиационных ГТД.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**доказана:**

– необходимость формирования суррогатов авиационного керосина с учётом физико-химических свойств, влияющих на процессы нагрева и испарения капель;

– необходимость разработки моделей нагрева и испарения капель, учитывающих такие факторы, как многокомпонентность, относительная скорость движения, диффузия компонентов внутри капли и насыщенность пара вокруг капли, которые влияют на характеристики испарения капель.

**изучено:**

– влияние компонентного состава, относительной скорости движения, внутренней диффузии компонентов и степени насыщенности пара на характеристики испарения капель;

**изложены:**

– расчётно-экспериментальные данные о времени испарения и температуре на поверхности капле керосина и его суррогатов при температурах внешней среды, характерных для рабочего процесса КС ГТД;

– метод моделирования процессов нагрева и испарения многокомпонентных капель жидкого топлива в трёхмерной постановке.

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

**разработаны и внедрены:**

– новая модель нагрева и испарения многокомпонентных капель жидкого топлива, использованная для решения задач в рамках научно-исследовательских работ, выполненных по гранту РФФИ № 21-19-00876 «Разработка моделей нагрева и испарения капель суррогатов керосина». Данная модель позволяет учитывать такие факторы, как компонентный состав, относительная скорость движения, внутренняя диффузия компонентов и степень насыщенности пара на характеристики испарения капли: время испарения, температуру на поверхности капли и изменение диаметра капли от времени;

– метод моделирования процессов нагрева и испарения капель жидкого топлива в трёхмерной постановке, задействованный в рамках научно-исследовательской работы по договору № 8969/55/23 «Разработка эскизной документации форсуночных устройств для генерации гетерогенных капель с оценкой влияния вырыска воды с топливом в камеру сгорания газотурбинного двигателя». Разработанный метод, в сравнении с существующими, позволяет учитывать многокомпонентность капли, концентрацию компонентов внутри капли, насыщенность пара вокруг капли и относительную скорость движения капли, и уточнить время испарения капель, а также распределение топливоздушнoй смеси в объёме жаровой трубы при численном моделировании рабочего процесса КС с помощью программ вычислительной газовой динамики. Применение разработанного метода моделирования процессов нагрева и испарения капель многокомпонентного состава позволило повысить точность определения эмиссионных характеристик ГТД.

**созданы:**

– три многокомпонентных суррогата авиационного керосина марки ТС-1, сформированных с учётом физико-химических свойств, влияющих на процессы нагрева и испарения капель, а именно на теплоёмкость, теплопроводность и давление насыщенных паров; а также с учётом кривой дистилляции;

– база экспериментальных данных по характеристикам испарения разработанных многокомпонентных суррогатов керосина, включающая в себя зависимости, показывающие изменение диаметра и температуры в приповерхностном слое капли от времени.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** результаты получены на сертифицированном и аттестованном оборудовании, обеспечивающем воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

**теория** построена на известных, проверенных положениях моделирования течений топливовоздушной смеси в трёхмерной стационарной постановке на основе осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса и кинетических реакторных моделей, описываемых уравнениями законов сохранения химической кинетики и гидродинамики;

**идеи базируются** на обобщении передового опыта в области трёхмерного моделирования процессов в камерах сгорания ГТД и кинетического описания термохимического состояния реагирующей смеси;

**установлено** качественное и количественное совпадение результатов численных и натурных экспериментов, а также результатов, полученных автором диссертации, с результатами, представленными в независимых литературных источниках по тематике исследования, когда такое сравнение является обоснованным;

**использовано** лицензионное программное обеспечение (ANSYS Fluent) и известные численные методы, обладающие высокой точностью, при проведении вычислительных экспериментов.

**Личный вклад соискателя состоит** в разработке методики формирования многокомпонентных суррогатов жидких топлив, в создании физических многокомпонентных суррогатов авиационного керосина марки ТС-1, в разработке новой модели нагрева и испарения капель жидкого топлива, учитывающей многокомпонентность, относительную скорость движения, диффузию компонентов внутри капли и насыщенность пара вокруг капли, в разработке нового метода моделирования процессов нагрева и испарения капель жидкого топлива в трёхмерной постановке, в непосредственном участии в получении исходных данных и проведении компьютерных и натурных экспериментов, в апробации результатов исследования и подготовке основных публикаций по выполненной работе. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично, либо при его определяющем личном участии.



В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: не было учтено влияние степени турбулентности на характеристики испарения капель при разработке модели нагрева и испарения капель; целью работы является повышение точности определения эмиссионных и эксплуатационных характеристик КС на этапе проектирования и доводки авиационных ГТД, но в презентации не показаны результаты сравнения эксплуатационных характеристик исследуемой КС; не было проведено сравнение характеристик испарения суррогатов по другим моделям нагрева и испарения капель; не показана точность определения характеристики испарения капель с помощью предлагаемой модели; не ясна цель разработки многокомпонентных суррогатов керосина.

Соискатель ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привёл собственную аргументацию:

Вопрос об учёте влияния степени турбулентности на характеристики испарения капель требует проработки. Сравнение эксплуатационных характеристик КС (полнота сгорания, потери полного давления, степень неравномерности температуры на выходе из КС) не было приведено в презентации из-за отсутствия экспериментальных данных по исследуемой камере. Сравнение характеристик испарения (зависимость температуры на поверхности капли от времени), полученных с помощью разных моделей нагрева и испарения, представлено на рисунке 4.4 «Зависимость изменения температуры на поверхности капли от времени для керосина марки ТС-1 по разным моделям нагрева и испарения», и показывает, что комплексный учёт многокомпонентности капли, относительной скорости движения капли, внутренней диффузии компонентов и насыщенности пара вокруг капли позволяет повысить точность определения характеристик испарения до 50% в определённых случаях. Суррогаты углеводородных топлив позволяют ускорить время и трудоёмкость трёхмерных расчётов в программах вычислительной газовой динамики за счёт сокращения химических компонентов и реакций в кинетических механизмах горения, что в свою очередь позволяет сократить время проектирования или доводки камеры сгорания в целом.

Полученные результаты диссертационного исследования могут быть использованы при проектировании газотурбинных двигателей и установок на ПАО «ОДК – Кузнецов» г. Самара, ПАО «ОДК–Сатурн» г. Рыбинск, ПАО «ОДК-УМПО» г. Уфа, АО «КМПО» г. Казань, АО «ОДК-Авиадвигатель» г. Пермь и других предприятиях.

Диссертация Эрнандеса Моралеса М. является законченной научно-квалификационной работой, соответствует специальности 2.5.15– Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов и

отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук (п.п. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении учёных степеней).

На заседании 21 декабря 2023 г. диссертационный совет за решение актуальной научной задачи повышения точности определения эмиссионных характеристик КС на этапе проектирования и доводки авиационных ГТД на основе разработанного метода моделирования процессов нагрева и испарения капель многокомпонентного жидкого топлива в трёхмерной постановке, имеющей значение для развития двигателестроения, принял решение присудить Эрнандэсу Моралесу М. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 11, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета 24.2.379.10  
академик РАН, д.т.н., профессор



*Шахматов* Шахматов Евгений Владимирович

*21.12.2023*

Учёный секретарь  
диссертационного совета 24.2.379.10  
д.т.н., доцент

*Виноградов*

Виноградов Александр Сергеевич