

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Круглов Кирилл Игоревич

Тема диссертации: Моделирование теплофизических процессов в высокочастотном ионном двигателе

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

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:
На заседании 22 декабря 2017 года диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Круглову Кириллу Игоревичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета* Равикович Ю.А., *ученый секретарь диссертационного совета* Зуев Ю.В., члены диссертационного совета: Абашев В. М., Агульник А. Б., Демидов А. С., Козлов А. А., Коротеев А. А., Кочетков Ю. М., Краев В. М., Лесневский Л. Н., Молчанов А. М., Мякочин А. С., Надирадзе А. Б., Назаренко И. П., Ненарокомов А. В., Никитин П. В., Попов Г. А., Силуянова М. В., Тазетдинов Р. Г., Тимушев С. Ф., Хартов С. А., Чванов В. К.

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



Зуев Ю.В.

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

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22.12.2017г. № 39

О присуждении Круглову Кириллу Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование теплофизических процессов в высокочастотном ионном двигателе» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 16.10.2017г., (протокол заседания № 27) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ), 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета - №2249-1460 от 02.11.2007г., об изменении состава диссертационного совета - №1986–540/1460 от 21.11.2008г., о продлении срока действия диссертационного совета - №1925-601 от 08.09.2009г., о соответствии диссертационного совета Положению о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук - №105/нк от 11.04.2012г., об изменении состава диссертационного совета №508/нк от 22.08.2012г., об изменении состава

диссертационного совета - №548/нк от 06.10.2014г., об изменении состава диссертационного совета - №1017/нк от 20.10.2017г.

Соискатель Круглов Кирилл Игоревич 1990 года рождения, работает инженером в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

В 2013 году соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (государственный технический университет)», в 2017 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте прикладной механики и электродинамики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук Абгарян Вардан Карленович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Научно-исследовательский институт прикладной механики и электродинамики, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

- Митрофанова Ольга Викторовна, доктор технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», кафедра «Теплофизика», профессор;

- Бишаев Андрей Михайлович, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технологический университет» (МИРЭА), кафедра физики, доцент дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Казеевым М.Н., кандидатом физико-математических наук, начальником лаборатории магнитно-импульсных технологий Отделения плазменных технологий Курчатовского комплекса физико-химических технологий (ОПТ ККФХТ), Койданом В.С., доктором физико-математических наук, начальником (ОПТ ККФХТ) и утвержденном Санду Р.А., первым заместителем директора Центра по научной работе, указала, что диссертационную работу К.И. Круглова характеризует актуальность тематики, практическая значимость и новизна. Диссертационная работа К.И. Круглова представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Результаты диссертационной работы К.И. Круглова имеют важное прикладное значение и используются в новых проектных разработках ВЧИД. Работа соответствует требованиям Положения ВАК о присуждении ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Кирилл Игоревич Круглов заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 2,02 п.л. Из 13 работ 2 – статьи в рецензируемых научных изданиях, 11 – тезисы докладов на научных конференциях. Все работы опубликованы в соавторстве. Личный вклад соискателя в данных работах заключается в разработке теплофизической модели процессов в плазме разряда, проведении численных расчетов распределений температур для ВЧИД

различной размерности, разработке и апробации экспериментальной методики исследования температурных полей на внешних поверхностях двигателей.

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

Наиболее значимые работы:

1. Абгарян, В.К. Тепловая модель высокочастотных ионных двигателей и источников ионов [Текст] / В.К. Абгарян, К.И. Круглов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2015. – № 11. – С. 21–27.
2. Balashov, V.V. Radio frequency source of a weakly expanding wedge-shaped xenon ion beam for contactless removal of large-sized space debris objects / V.V. Balashov [et al.] // Review of Scientific Instruments. – 2017. – Т. 88. – №. 8. – С. 083304.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв на диссертацию ведущей организации – НИЦ «Курчатовский институт» содержит 4 замечания:

1. В главе 2 не достаточно аргументированно указано, основываясь на каких исследованиях или предположениях, принято значение в 15 % от ВЧ мощности для мощности лучистого потока из плазмы.
2. На стр. 33 указано, что из экспериментов известно значение тока в цепи ускоряющего электрода, равное 2-3% о тока ионов пучка, однако ссылка на какие-либо публикации отсутствует.
3. На стр. 39 для формулы (1.21) пропущено описание для одного из слагаемых.
4. На стр. 60 в формуле (2.29) ток ионов перезарядки из области нейтрализации определяется равным 1% от тока ионов пучка, однако не описано, по какой причине это значение отличается от экспериментальных данных, представленных выше.

Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора технических наук Митрофановой Ольги Викторовны. Замечания по диссертационной работе:

1. Ресурс работы ВЧИД в значительной мере зависит от плотности мощности перезарядных ионов, выносимых на поверхность ускоряющего электрода (УЭ). Каковы сравнительные оценки вклада этого механизма эрозии УЭ для рассмотренных в диссертации моделей двигателей?

2. В диссертации, несмотря на огромный объем представленных материалов, не уделено места сравнительной оценке достоверности результатов, получаемых с помощью разработанной модели. Целесообразно было бы показать преимущества предлагаемого подхода на основе сравнения с результатами моделирования других авторов.

3. Известно, что величина контактного сопротивления может сильно влиять на распределение температур в сборной конструкции. При постановке задачи контактные сопротивления задавались в виде констант, соответствующих обратной величине проводимости контактов для различных материалов. Вместе с тем, эти значения могут существенно изменяться при деформации элементов в процессе работы ВЧИД. Варьировались ли их значения в расчетах? В зависимости (2.41) не указана размерность проводимости контакта $[K] = \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

4. Для обоснования сделанного автором выбора метода измерения температур с использованием тепловизора, следовало бы провести более подробный анализ точности термодарного, пирометрического и тепловизионного методов.

5. Остался невыясненным вопрос, о котором упоминает сам автор, о вкладе солнечной радиации в энергетический баланс.

Отзыв на диссертацию официального оппонента кандидата технических наук Бишаева Андрея Михайловича содержит два замечания:

1. Предложенная в диссертации методика определения температуры с помощью тепловизора не доработана. Поэтому определить распределение температуры в УЭ не удалось.

2. При изложении материала допущены неопределенности, связанные с неточным указанием номеров рисунков. Например, стр. 68 вместо рисунка 2.10 указан рисунок 2.4, а на стр. 69 вместо 2.9 указан 2.6.

Отзыв на автореферат диссертации ФГУП «Опытное конструкторское бюро «Факел» (ОКБ «Факел»), составленный главным конструктором по направлению Козубским К.Н, инженером-конструктором 2 категории отдела 301, кандидатом технических наук Митрофановой О.А., ученым секретарем НТС ведущим специалистом Нятиным А.Г. и утвержденный исполняющим обязанности генерального конструктора ФГУП ОКБ «Факел» Корякиным А.И. Отзыв содержит одно замечание по содержанию работы:

Стоит отметить, что автором достаточно подробно описана разработанная тепловая модель, приводятся ссылки на тепловую модель Ван Ноорда и другие модели, имеющие незначительные отличия, однако отличия, определяющие новизну предлагаемой автором тепловой модели, в автореферате не представлены.

Отзыв на автореферат диссертации АО «НПО Лавочкина», составленный ведущим конструктором, кандидатом технических наук Шабарчиным А.Ф. и утвержденный помощником генерального директора по науке, доктором технических наук, профессором Ефановым В.В. Отзыв содержит два замечания по содержанию работы:

1. В работе принято, что мощность лучистого потока, образующегося при снятии возбуждения атомов и ионов плазмы разряда составляет 15% от мощности, вкладываемой в разряд ВЧ. Обоснования данного решения в автореферате не приводится.

2. Важным параметром совместимости двигателя с КА является тепловая нагрузка от двигателя на конструкцию КА, которая во многом

определяет состав средств обеспечения теплового режима КА в зоне посадочных мест двигателя. Тепловые потоки от двигателя на посадочные места КА для рассмотренных конструктивных схем двигателя в расчетах не приводятся.

Отзыв на автореферат диссертации Гарберы Станислава Николаевича, кандидата технических наук, заместителя начальника расчетного отдела Акционерного общества «Конструкторского бюро химавтоматики» (АО КБХА) содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. В автореферате не указана величина сокращения времени компьютерного расчета за счет уменьшения количества отверстий в электродах при сохранении площади перфорации.

2. Отсутствует ссылка на литературные источники обосновывающая критическую температуру титанового сплава ВТ14 равную 400 °С.

3. На рисунке 9 автореферата значения температуры приведены в °С, а должны быть приведены в К.

Отзыв на автореферат диссертации Ловцова Александра Сергеевича, кандидата физико-математических наук, начальника отдела электрофизики ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. В автореферате говорится о значительном влиянии нагрева элементов конструкции ВЧИД на технические характеристики двигателей, однако не сказано, какие именно технические характеристики ИД имеются в виду и каков характер подобного влияния.

2. В автореферате не сказано, каким образом определяется мощность WR -индукционные потери на вихревые токи в элементах двигателя.

3. К недостаткам использованной экспериментальной методики следует отнести отсутствие анализа погрешностей измерения и отказ от подтверждения результатов измерения температур работающего двигателя, полученных оптическим методом, посредством данных, получаемых более традиционными методами, с помощью контактных датчиков.

Отзыв на автореферат диссертации, составленный сотрудниками **ФГУП ЦНИИмаш**: и.о. начальника отдела 4101 «Научно-техническое сопровождение наземной экспериментальной отработки и летные испытания двигательных установок» Гусевым Юрием Геннадьевичем и ведущим научным сотрудником отдела 4101, кандидатом технических наук Пильниковым Александром Васильевичем, содержит следующие замечания по содержанию работы:

1. В тексте автореферата, раздел «Научная новизна работы» представлен недостаточно ясно и точно, какие положения в действительности являются новыми научными положениями. Не все приведенные в этом разделе положения отражают действительно новые научные результаты исследований, проведенные автором.

2. В автореферате сказано, что в расчетную модель введены контактные сопротивления элементов конструкции, однако не показано как конкретно это было реализовано и не приведены их характерные числовые значения.

3. Выбор метода измерения температур элементов конструкции в вакуумной камере с помощью тепловизора имеет свою специфику и определенные трудности. Нет достаточного обоснования, более подробного сравнительного анализа и преимуществ этого метода в сравнении с другими методами определения температур.

Отзыв на автореферат диссертации Довгялло Александра Ивановича, доктора технических наук, профессора кафедры теплотехники и тепловых двигателей ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» содержит одно замечание по содержанию работы:

К сожалению, автореферат не смог вместить в себя более подробное описание всего исследования, в связи с чем, пришлось ознакомиться с рукописью, после чего выяснилось, что исследование является намного более полным и значительным, чем следует из автореферата.

Отзыв на автореферат диссертации АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (АО «ИСС»), составленный главным ученым секретарем НТС, доктором технических наук, профессором Головёнкиным Евгением Николаевичем и начальником отдела систем терморегуляции и тепловых анализов Колесниковым Анатолием Петровичем и утвержденный Членом Президиума НТО АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнёва», кандидатом физико-математических наук, профессором Халимановичем Владимиром Ивановичем, содержит одно замечание по содержанию работы:

В процессе проработки материалов автореферата замечено, что в расшифровке компонентов уравнений не указана их размерность (стр. 10, 11), кроме того, предлагается привести значения теплового потока к сопряженной системе терморегулирования КА, особенно для двигателей мощностью 15 -20 кВт.

Отзыв на автореферат диссертации, составленный сотрудниками Акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна» (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»): заместителем генерального директора по научной работе, доктором технических наук, профессором Гечей Владимиром Яковлевичем и начальником лаборатории, доктором технических наук Онуфриевым Валерием Валентиновичем, содержит одно замечание по содержанию работы:

Автором не указаны наиболее рациональные диапазоны температуры элементов ЭРД, в которых обеспечивается требуемая надежность данного элемента ЭРД и его ресурс, что с практической точки зрения является главным при разработке летных образцов двигателей.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в области науки, к которой относится диссертационная работа Круглова К.И., что подтверждается их научными публикациями по данной тематике.

Первый оппонент – доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры "Теплофизика" ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», ведущего научно-исследовательского центра страны. Специализируется на теплофизике ядерно-энергетических установок, разработке теплофизических моделей, методов расчета теплообмена с учетом сложных вихревых и закрученных течений. Является руководителем научных работ, в том числе по тематике Федеральной космической программы России, является автором более тридцати научных работ.

Второй оппонент – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры Физики ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (МИРЭА). Является специалистом в области разработки и исследовании электроракетных двигателей. Руководил научными проектами по разработке плазменных двигателей нового поколения. Имеет более тридцати научных трудов по тематике диссертации.

Ведущая организация – ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» – выбрана на основании того, что является одной из ведущих организаций в области разработки электрических ракетных двигателей. Обладает развитой лабораторно-экспериментальной базой, позволяющей проводить полномасштабные испытания образцов ракетно-космической техники, что обеспечивает возможность определения научной и практической ценности диссертации и объективной оценке всех приведенных в диссертации экспериментальных и теоретических данных, а также приведенных в работе рекомендаций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны рекомендации по интеграции высокочастотных ионных двигателей в систему КА с учетом их тепловой схемы, а также рекомендации по использованию конструкционных материалов и специальных покрытий для повышения характеристик двигателей;

предложены расчетные тепловые модели и экспериментальная методика исследования температурных полей высокочастотных ионных двигателей различной размерности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана взаимосвязь плазменных и тепловых процессов в газоразрядной камере, определяющая предельные режимы работы двигателя (по достижению критической температуры элементов конструкции).

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых подходов к исследованиям, включающий методики проведения эксперимента, аналитические и графические методы обработки экспериментальных данных, аналитические и численные методы моделирования.

изложены результаты моделирования и экспериментального исследования температурных полей в высокочастотных ионных двигателях различной мощности и характеристики их предельных режимов работы;

изучено влияние свойств конструкционных материалов основных элементов высокочастотного ионного двигателя: газоразрядной камеры и ионно-оптической системы на его характеристики;

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

разработаны и верифицированы тепловые модели лабораторных образцов высокочастотных ионных двигателей ВЧИД-8, ВЧИД-16, ВЧИД-49М;

создана инженерная методика оценки радиационных параметров разрядных камер ВЧ ИД и **представлены** рекомендации и пути снижения тепловых нагрузок на узлы высокочастотных ионных двигателей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ – результаты, отраженные в диссертационной работе, получены на сертифицированном оборудовании с применением современных методик сбора и обработки данных;

в теоретическом плане, использованная при разработке методика расчета, построена на использовании физических моделей плазменных процессов, опубликованных в различных работах по теме диссертации и значительной детализацией физических процессов в высокочастотных двигателях различной размерности;

установлено удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных авторских результатов с данными, приведенными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке расчетной тепловой модели высокочастотного ионного двигателя;
- проведении серии численных расчетов температурных распределений в двигателях различных размерностей и на различных режимах их работы;
- проведении экспериментальных исследований, обработки и интерпретации данных;
- выработке рекомендаций по применению материалов в узлах конструкции двигателя.

На заседании 22 декабря 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Круглову К.И. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 22, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Равикович
Юрий Александрович

Зуев
Юрий Владимирович

22 декабря 2017 года