

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.10

**Соискатель:** Болотная Камилла Игоревна

**Тема диссертации:** Разработка методического обеспечения эксплуатации инфракрасных имитаторов внешних тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата.

**Специальность:** 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» (технические науки)

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**

На заседании «28» декабря 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Болотной Камилле Игоревне ученую степень кандидата технических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» (технические науки), участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

**Присутствовали:** председатель д.т.н., проф. Денискин Ю.И.; секретарь совета к.т.н., доц. Денискина А.Р.; д.т.н., проф. Абашев В.М.; д.т.н., проф. Боголюбов В.С.; д.т.н., доц. Долгов О.С.; д.т.н., проф. Дудченко А.А.; д.т.н., проф. Ендогур А.И.; д.т.н., проф. Комков В.А.; д.т.н., проф. Лисейцев Н.К.; д.т.н., проф. Панкина Г.В.; д.т.н., проф. Парамонов Н.В.; д.ф.-м.н., проф. Рабинский Л.Н.; д.т.н. доц. Рахманов М.Л.; д.т.н., проф. Сидоренко А. С.; д.т.н., проф. Туркин И.К.; д.т.н., проф. Фирсанов В.В.; д.т.н., проф. Шайдаков В.И.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.125.10  
к.т.н., доцент



А. Р. Денискина

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.10  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28.12.2016, № \_\_\_\_

О присуждении Болотной Камилле Игоревне, гражданке Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методического обеспечения эксплуатации инфракрасных имитаторов внешних тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата» по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» принята к защите 21 октября 2016 г., протокол № 14, диссертационным советом Д 212.125.10 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки Российской Федерации, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета № 714/НК от 02.11.2012 г.

Соискатель Болотная Камилла Игоревна 1988 года рождения. В 2012 году соискатель с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «Испытание летательных аппаратов».

Болотная Камилла Игоревна в период с 01.06.2012 г. по 29.05.2015 г. обучалась в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

В период подготовки диссертации Болотная Камилла Игоревна была прикреплена к кафедре 610 «Управление эксплуатацией ракетно-космических систем».

С сентября 2011 года по настоящее время работает начальником бюро в федеральном государственном унитарном предприятии «Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева».

**Диссертация выполнена** на кафедре 610 «Управление эксплуатацией ракетно-космических систем» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, старший научный сотрудник **Колесников Анатолий Васильевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра 610 «Управление эксплуатацией ракетно-космических систем», профессор.

**Официальные оппоненты:**

**Резник Сергей Васильевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», заведующий кафедрой «Ракетно-космические композитные конструкции»,

**Семена Николай Петрович**, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт космических исследований Российской академии наук», заведующий лабораторией дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина», Московская обл., г. Химки, в своем положительном заключении, подписанном Мартыновым Максимом Борисовичем, кандидатом технических наук, заместителем Генерального директора – генеральным конструктором, Москатиньевым Иваном Владимировичем, заместителем генерального конструктора по общему проектированию, Тулиным Дмитрием

Владимировичем, заместителем начальника комплекса 510, и Шостаком Сергеем Викторовичем, кандидатом технических наук, Ученым секретарем НТС ОКБ, указала, что диссертация Болотной Камиллы Игоревны представляет собой законченное исследование, посвященное актуальной теме. Диссертация отвечает критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней.

Соискатель имеет 5 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 4 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях.

Наиболее значительные работы:

1. Мамедова К.И., Колесников А.В., Палешкин А.В. Градиентные методы оптимизации режима работы имитатора внешних тепловых нагрузок. Статья. Тепловые процессы в технике. 2014. Т. 6. № 11. с. 522-528.
2. Мамедова К.И., Колесников А.В., Палешкин А.В. Методика выбора оптимального энергетического режима работы сетчатого нагревателя. Статья. Тепловые процессы в технике. 2015. Т. 7. № 1. с. 37-42.
3. Мамедова К.И., Колесников А.В., Палешкин А.В. Методика оценки влияния погрешностей моделирования внешних тепловых нагрузок на тепловое состояние КА. Статья. Тепловые процессы в технике. 2015 Т. 7, № 9, с. 417-422.
4. Мамедова К.И., Палешкин А.В. Моделирование расчетных внешних тепловых нагрузок к поверхности космического аппарата с помощью инфракрасных нагревателей. Статья. Вестник МАИ. 2016, №12, Т.85.
5. Актуальные проблемы российской космонавтики. Труды XXXIX академических чтений по космонавтике, посвященных памяти С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства. Москва, 27-30 января 2015 года. Сборник тезисов докладов. – М.: Комиссия РАН. - 2015. с. 247.

### **На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

– от ведущей организации **федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»**, Московская обл., г. Химки. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Весьма важный вывод о наличии у целевой функции нескольких минимумов не нашел в диссертации достаточно полного обоснования. Есть основания предположить, что точки минимума целевой функции зависят не только от применяемого метода минимизации, но и начальных значений оптимизируемого вектора. В работе не представлен анализ зависимости положения точки минимума целевой функции от начального ее положения.

2. Сделанный автором диссертации вывод о преимуществе имитаторов с условно точечными излучателями перед другими имитаторами представляется спорным в случае, когда внешняя поверхность испытываемого объекта близка к цилиндрической поверхности с образующей, параллельной продольной оси объекта. Именно такая форма наружной поверхности часто имеет место при использовании на космическом аппарате экранно-вакуумной теплоизоляции.

3. В работе отмечается, что галогенные кварцевые лампы накаливания можно применять лишь в качестве условно точечных источников излучения в том случае, когда поверхность испытываемого объекта является серой. Однако эти лампы можно применять и при испытаниях объектов, наружные поверхности которых не являются серыми, но имеют однородные радиационно-оптические характеристики.

4. Во второй главе приводятся три таблицы, в которых иллюстрируются результаты расчетов вектора интенсивности излучения модулей цилиндрического имитатора, выполненных с помощью трех анализируемых в главе подходов. Из сопоставления таблиц следует вывод о наличии трех минимумов у целевой функции. Этот вывод мог бы более наглядно продемонстрирован с помощью графиков.

– от официального оппонента **Резника Сергея Васильевича**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Ракетно-космические композитные конструкции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный

технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. При выборе методических подходов к экспериментальному моделированию процессов радиационного теплообмена не приведены требования к точности воспроизведения тепловых режимов КА.

2. В диссертации недостаточно полно представлены физические допущения, используемые при формулировке математических моделей радиационного теплообмена, а сами эти модели детально не раскрыты, что затрудняет анализ возможности учета спектрального распределения энергии теплового излучения электрических нагревателей, отражателей, КА и поверхностей термовакuumной камеры. Нет данных о конкретном виде индикатрис отражения излучения для поверхностей, участвующих в радиационном теплообмене, как в модельных исследовательских задачах, так и сугубо прикладных, относящихся к термовакuumным испытаниям на установке ВК 600/300.

3. В п.3.2 не обоснована величина коэффициента полезного использования подводимой к модулю имитатора энергии, что вызывает сомнения в достоверности полученного значения коэффициента связи между интенсивностью излучения элемента модуля имитатора и подводимой к модулю электрической мощности.

4. Не ясно на каком основании на стр. 76 в п. 4.1.1. автор делает вывод об ожидаемых 2-х процентных температурных погрешностях на теплоизолированных элементах испытываемого объекта при высокой отражательной способности покрытия поверхности отражателей.

5. Отдельные части текста плохо отредактированы, имеются неточности и неисправленные опечатки, в частности:

- на стр. 14 читаем странную фразу: «...[Поверхность] отражателя может иметь плоскую (пропущено слово «форму»?) или форму цилиндрической поверхности с различной формой направляющей линии отражателей»;

- на стр. 19, где приведена принципиальная схема модуля имитатора, в подписи к рис. 1.2 плоский излучатель назван коническим диффузором 4;

- на стр. 26 дважды повторен текст «Выбор  $U_j(0)$  в качестве .....»;

- на стр. 27 не согласован текст «Геометрическую модель .... может задаваться одним из двух способов»; аналогично на стр. 76 «Реальная сложная по

геометрической конфигурации боковая поверхность испытуемого объекта заменялась поверхностями двух стыкающихся цилиндрическими поверхностями, отличающимися высотой, формой и размерами направляющих линий»;

- на стр. 85 в п. 4.2.1 и в п. 4.2.2 на той же странице дважды приведен текст: «Комплексные тепловакуумные испытания КА «Луна-Глоб» будут проводиться в ВК600/300».

Литература оформлена с отступлением от ГОСТ 7.0.11-2011. Кроме того, на стр. 116-117 в списке литературы отсутствуют источники 26-29. В источнике 25 фамилия Белов написана с маленькой буквы.

– от официального оппонента **Семены Николая Петровича**, кандидата технических наук, заведующего лабораторией федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук», г. Москва. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Очень интересный вывод о множественности вариантов соотношении интенсивностей нагревателей, обеспечивающих минимальную погрешность моделирования поля поглощенного потока, не получил дальнейшего развития в виде предложений дополнительных критериев для выбора одного из этих вариантов и исследований этих критериев.

2. Используемые при оптимизации интенсивностей нагревателей весовые коэффициенты тепловоспринимающих элементов являются произвольными параметрами. Было бы целесообразно хотя бы, в общем, описать принцип их назначения, тем более, что имеется достаточно ограниченный набор возможных тепловоспринимающих поверхностей (ЭВТИ, радиаторы, панели солнечных батарей, объективы теле- фотокамер и т.д.).

– от **Галеева Айвенго Гадыевича**, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника и **Муравьева Ивана Федоровича**, кандидата технических наук, доцента, начальника сектора федерального казенного предприятия «Научно-

испытательный центр ракетно-космической промышленности», Московская обл., г. Пересвет. Отзыв положительный. Имеется замечание:

При изложении аналитического подхода к решению очень важной задачи определения зависимости интенсивности излучения линейчатых модулей инфракрасного имитатора от подводимой к ним электрической мощности не приводится обоснование принятой для расчета величины коэффициента полезного использования к модулю энергии.

– от **Лексина Максима Александровича**, кандидата технических наук, инженера I категории публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева», Московская обл., г. Королев. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Отсутствует обоснованный вывод о преимуществах ИК-имитатора с условно-точечными излучателями перед ИК-имитатором с линейными излучателями;

2. Недостаточно рассмотрен вопрос обеспечения равномерности падающего ИК-потока при использовании ИК-имитатора с условно-точечными излучателями.

– от **Винокурова Юрия Николаевича**, кандидата технических наук, начальника отдела «Теплового проектирования» КБ «Салют» федерального государственного унитарного предприятия «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева» Отзыв положительный. Имеется замечание:

Отсутствует оценка погрешности воспроизведения тепловых нагрузок на поверхности КА с использованием разработанной методики оптимизации.

– от **Копяткевича Ростислава Михайловича**, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, начальника отдела и **Винокурова Дмитрия Константиновича**, ведущего инженера федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш), Московская область, г. Королев. Отзыв положительный. Имеются замечания:



1. В целевой функции, характеризующей погрешности воспроизведения заданных тепловых нагрузок на элементы поверхности испытуемого объекта, плотность поглощенного излучения рассчитывается по значениям интенсивностей излучателей и локальных угловых коэффициентов между тепловоспринимающими элементами и инфракрасными имитаторами. Данный подход не учитывает переотражения лучистых потоков элементами поверхности объекта испытаний. Для объектов сложной геометрии, к которым относится изделие «Луна-Глоб», это может привести к существенным различиям между прогнозируемыми и реальными плотностями поглощенных потоков. Желательно иметь оценку данной погрешности с целью определения границ применимости предложенного метода.

2. Из текста автореферата не ясно, в каком состоянии находятся разработанные компьютерные программы на Фортране, и возможно ли их применение специалистами предприятий космической отрасли.

3. Также имеется ряд замечаний редакционного характера. Например, на стр. 11 ошибочно задан индекс суммирования  $i$  вместо  $j$ .

– от **Оноприенко Виктора Демьяновича**, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, ведущего специалиста отдела 335 – ТЭО РТ и **Гаврикова Виталия Евгеньевича**, главного специалиста отдела 332 – ТЭО автоматические КА и НАКУ федерального государственного унитарного предприятия «Организация «АГАТ», г. Москва. Отзыв положительный. Замечаний нет.

– от **Соколовского Виктора Владимировича**, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, заместителя Генерального конструктора, **Самонова Виктора Алексеевича**, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, заместителя главного конструктора и **Никитина Алексея Леонидовича**, кандидата технических наук, ведущего конструктора акционерного общества «Машиностроительное конструкторское бюро «Факел» имени академика П.Д. Грушина», Московская обл., г. Химки. Отзыв положительный имеются замечания:

1. Из текста автореферата не ясно, как проводилось формирование альтернативных вариантов построения инфракрасных имитаторов, как выборки ограниченной

совокупности вариантов построения имитаторов из генеральной совокупности вариантов, метода исследования вопроса о единственности решения.

2. В автореферате не представлено обоснование критерия выбора показателей точности моделирования тепловых нагрузок оптимальности энергетических режимов работы имитаторов.

3. Имеется ряд погрешностей редакционного характера.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, отмечены новизна и достоверность полученных результатов, а также их практическая значимость.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:**

официальные оппоненты имеют значительный опыт и высокий уровень в научно-исследовательской работе в области теплового проектирования, а ведущая организация является передовым государственным предприятием в России, занимающимся созданием космической техники.

**Диссертационный совет отмечает:**

1. Считать диссертационную работу Болотной К.И. научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные методики, имеющие существенное значение при наземной тепловой отработке космических аппаратов.

2. На основании выполненных соискателем исследований:

- **выявлено** наличие не единственного решения задачи минимизации целевой функции, характеризующей среднеквадратичную погрешность моделирования требуемых внешних тепловых нагрузок на поверхность КА;

- **разработаны** экспериментальный и аналитический подходы к определению коэффициента связи между подводимой к линейчатому модулю имитатора мощностью и интенсивностью его излучения;

- впервые **разработана** принципиальная схема модуля инфракрасного имитатора, имеющего в своем составе галогенные кварцевые лампы накаливания в качестве источников тепловой энергии для излучателей модуля;

- **разработан** новый методический подход к решению задачи экспериментального моделирования внешних тепловых нагрузок с помощью сетчатых нагревателей;

- **показана** эффективность градиентных методов оптимизации энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов на примере решения задачи воспроизведения внешних тепловых нагрузок на изделие «Луна-Глоб» в условиях тепловакуумной установки ВК 600/300;

- **новые понятия** не вводились.

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

- **проведено** сравнительное исследование трех методов оптимизации энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов, два из которых являются градиентными, и впервые использовались для решения задач рассматриваемого класса;

- **проведено** сравнение точности воспроизведения заданных тепловых нагрузок при использовании различных методов оптимизации режима работы имитатора; выявлено преимущество градиентного метода скорейшего спуска по сравнению с другими рассмотренными;

- **проведено** исследование возможности использования кварцевых галогенных ламп накаливания в составе инфракрасного имитатора с условно точечными излучателями, испускающими в сторону испытуемого объекта излучение по спектральному составу близкому к излучению черного тела;

- **проведено** сравнение известного и вновь разработанного методических подходов к решению задачи экспериментального моделирования внешних тепловых нагрузок с помощью сетчатых нагревателей; показано преимущество нового подхода;

- **проведен** анализ универсального численно-аналитического метода определения угловых коэффициентов;

- **проведен** расчет угловых коэффициентов для имитаторов с линейчатыми и сетчатыми излучателями.

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

- **разработана** принципиальная схема модуля инфракрасного имитатора с условно точечными излучателями, имеющая в своем составе галогенные кварцевые лампы накаливания;

- **продемонстрирована** эффективность градиентных методов оптимизации энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов на примере решения задачи воспроизведения внешних тепловых нагрузок на изделие «Луна-Глоб» в условиях тепловакуумной установки ВК 600/300;

- **разработан** новый методический подход к решению задачи экспериментального моделирования внешних тепловых нагрузок с помощью сетчатых нагревателей, отличающийся от известного точностью моделирования тепловых нагрузок и простотой ввода исходной информации о геометрической модели имитатора.

#### **Реализация результатов исследований.**

Разработанные автором теоретические и практические результаты использованы в учебном процессе кафедры 610 «Управление эксплуатацией ракетно-космических систем» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», а также использованы в производственной деятельности двух организаций – федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» и федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева», что подтверждено актами о внедрении результатов.

### **Оценка достоверности результатов исследования выявила следующее:**

- **использовано** обоснованное сравнение авторских результатов численных экспериментов и имитационного моделирования с имеющимися результатами, полученными ранее в рассматриваемой научной области;
- **установлено** качественное соответствие авторских результатов результатам исследований других авторов, представленным в печатных изданиях;
- **использованы** современные программные средства численного и имитационного моделирования.

### **Личный вклад соискателя состоит в следующем:**

- проведен технический анализ различных способов физического моделирования внешних тепловых нагрузок на поверхность космического аппарата;
- разработаны экспериментальный и аналитический подходы к определению коэффициента связи между подводимой к линейчатому модулю имитатора мощностью и интенсивностью его излучения;
- разработана принципиальная схема модуля инфракрасного имитатора с условно точечными излучателями;
- проведено сравнительное исследование трех методов оптимизации энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов, два из которых являются градиентными;
- разработан новый метод к решению задачи экспериментального моделирования внешних тепловых нагрузок с помощью сетчатых нагревателей;
- непосредственное участие при определении эффективности градиентных методов оптимизации энергетических режимов работы инфракрасных имитаторов тепловакуумной установки ВК 600/300 при воспроизведении внешних тепловых нагрузок на изделие «Луна-Глоб»;
- выполнена подготовка публикаций по представленной работе.

На заседании «28» декабря 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Болотной Камилле Игоревне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационного совета



Ю. И. Денискин

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А. Р. Денискина

«28» декабря 2016 г.