

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.10

**Соискатель:** Салосина Маргарита Олеговна

**Тема диссертации:** Методы исследования и проектирования тепловой защиты солнечного зонда с учетом параметров структуры теплозащитных материалов

**Специальности:** 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов; 05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

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

На заседании 26 декабря 2019 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, и принял решение присудить Салосиной Маргарите Олеговне ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета д.т.н., проф. Ю.И. Денискин; заместитель председателя диссертационного совета, д.т.н., проф. Бойцов Б.В.; ученый секретарь диссертационного совета, к.т.н., доц. А.Р. Денискина; члены диссертационного совета: д.т.н., проф. Абашев В.М.; 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. Куприков М.Ю.; д.т.н., проф. Лисейцев Н.К.; д.т.н., проф. Панкина Г.В.; д.т.н., проф. Парамонов Н.В.; д.т.н., проф. Подколзин В.Г.; 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.

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

  
А.Р. Денискина  
  
И.о. начальника отдела УДС МАИ  
Т.А. Аникина  


ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.10, 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 УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 26 декабря 2019 г. № 35

О присуждении Салосиной Маргарите Олеговне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы исследования и проектирования тепловой защиты солнечного зонда с учетом параметров структуры теплозащитных материалов» по специальностям 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов и 05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов принята к защите 25 октября 2019 г., протокол заседания № 30, диссертационным советом Д 212.125.10 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, Волоколамское шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.10 – № 714/нк от 02 ноября 2012 г.

Соискатель Салосина Маргарита Олеговна, 1986 года рождения, гражданка Российской Федерации.

В 2010 году соискатель окончила федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (государственный технический университет)» по специальности «Космические летательные аппараты и разгонные блоки».

С 2014 по 2018 гг. соискатель обучалась в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего



образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и освоила программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 24.06.01 – Авиационная и ракетно-космическая техника.

В период подготовки диссертации работала в ФГУ «12 ЦНИИ Минобороны России» в должности младшего научного сотрудника по 2018 год. С 2018 года работает в должности ассистента на кафедре «Космические системы и ракетостроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

**Диссертация выполнена** в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор, академик РАН **Алифанов Олег Михайлович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», заведующий кафедрой «Космические системы и ракетостроение».

**Научный консультант** – доктор технических наук, профессор **Ненарокомов Алексей Владимирович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры «Космические системы и ракетостроение».

**Официальные оппоненты:**

**Горский Валерий Владимирович** – доктор технических наук, профессор, акционерное общество «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения», главный научный сотрудник.

**Просунцов Павел Викторович** – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кафедра «Ракетно-космические композитные конструкции», профессор.



Официальные оппоненты дали **положительные отзывы** на диссертацию.

**Ведущая организация** – акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (АО «НПО Лавочкина»), г. Химки, Московская область, Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос», в своем положительном заключении, подписанном ведущим научным сотрудником отдела 516 – доктором технических наук Ивановым Александром Андреевичем; исполняющим обязанности начальника отдела 516 – кандидатом физико-математических наук Хамидуллиной Натальей Мугалимовной и утвержденном заместителем генерального директора по научной работе, доктором технических наук, профессором Шевченко Сергеем Николаевичем, отметила, что результаты исследования имеют научную новизну, теоретическую и практическую значимость.

Диссертация Салосиной М.О. посвящена решению актуальной задачи – разработке метода оптимального проектирования многослойного теплозащитного экрана солнечного зонда с учетом возможности выбора параметров структуры высокопористых ячеистых материалов.

Одной из важных проблем, возникающих при создании космических аппаратов для исследования ближайшей окрестности Солнца, является обеспечение теплового режима бортового оборудования. Для защиты научных приборов от интенсивного потока солнечного излучения необходим специальный теплозащитный экран. Масса подобного экрана велика и сравнима с массой всей научной аппаратуры, что делает актуальной задачу снижения массы тепловой защиты солнечного зонда на основе более полного учета механизмов переноса тепла в материалах экрана и разработки метода оптимального проектирования его конструкции.

В диссертационной работе разработан новый метод оптимального проектирования многослойного теплозащитного экрана солнечного зонда, отличительной чертой которого является возможность выбора параметров структуры высокопористых ячеистых материалов совместно с толщинами слоев. Разработана математическая модель теплообмена в высокопористом ячеистом материале, учитывающая его структуру. Проведено экспериментально-расчетное исследование процесса теплообмена в плоском слое высокопористого ячеистого

материала методом обратных задач теплообмена. Достоверность разработанного метода проверена путем сравнения результатов математического моделирования с экспериментальными данными, полученными для образцов высокопористых ячеистых материалов с разной структурой.

Достиженные в диссертации результаты имеют важное практическое значение, что подтверждается двумя актами о внедрении, полученными в акционерном обществе «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (АО «НПО Лавочкина»), г. Химки, Московская область, Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос»; в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается строгостью математической и физической постановки решаемой задачи, близким соответствием с результатами, полученными в рамках других моделей и методов, применением надежных, зарекомендовавших себя принципов реализации алгоритмов численного решения задач, сравнением результатов численного моделирования и экспериментальных данных.

Соискатель имеет 14 печатных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и образования РФ, 1 статью – в издании, цитируемом в базе данных WoS и Scopus и 1 статью – в издании, цитируемом в базе данных Scopus:

1. Салосина М.О. Тепловой режим солнечного зонда с учетом ударного воздействия высокоскоростных частиц пыли // Труды МАИ, 2016. – № 86. – 22 с. <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=67808>.
2. Салосина М.О. Оптимизация многослойного теплозащитного экрана солнечного зонда // Космическая техника и технологии, 2018. – Т. 22, № 3. – С. 32-41.
3. Салосина М.О., Алифанов О.М., Ненарокомов А.В. Проектирование тепловой защиты солнечного зонда с учетом параметров структуры теплозащитных материалов // Тепловые процессы в технике, 2019. – Т. 11, № 8. – С. 345 – 354.



4. Nenarokomov A.V., Salosina M.O., Alifanov O.M. Optimal design of multi-layer thermal protection of variable thickness // International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, 2017. – Vol. 27, Issue 5. – P. 1040 – 1055. doi: 10.1108/HFF-03-2016-0112.
5. Alifanov O.M., Nenarokomov A.V., Salosina M.O. Optimal design of thermal protection considering the carbon foam morphology // Proceedings of 69th International Astronautical Congress: Involving Everyone (IAC 2018) (Bremen, Germany, 1 – 5 October 2018). – IAF, International Astronautical Federation, 2018, - Vol. 13. – P. 9099 – 9106.
6. Салосина М.О. Тепловой режим солнечного зонда с учетом столкновений с высокоскоростными частицами пыли // XL Академические чтения по космонавтике: сборник тезисов докладов конференции (Москва, 26 – 29 января 2016). – Москва: ООО «Манускрипт», 2016. – С. 31 – 32 (504 с.).
7. Салосина М.О. Проектирование тепловой защиты солнечного зонда с учетом ударного воздействия высокоскоростных частиц пыли // Молодёжь и будущее авиации и космонавтики: сб. аннотаций конкурсных работ 8-го Всероссийского молодёжного конкурса научно-технических работ и проектов (Москва, 14 – 18 ноября 2016). – Москва: Типография «Люксор», 2016. – С. 243 – 245 (360 с.).
8. Алифанов О. М., Константинов М. С., Крайнова И. В., Ненарокомов А. В., Салосина М. О., Мин Тейн. Проектирование тепловой защиты перспективного солнечного зонда // XV Минский международный форум по тепло- и массообмену: сборник тезисов докладов (Минск, 23 – 26 мая 2016). – Минск: Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2016. – Т. 2. – С. 312-316 (473 с.).
9. Салосина М.О. Оптимизация многослойного теплозащитного экрана солнечного зонда // XXI Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов РКК «Энергия» им. С.П.Королёва: сборник тезисов докладов (Королев, 30 октября – 3 ноября 2017). – Королев: РКК «Энергия» им. С.П.Королёва, 2017. – Т.1. – С. 233-234 (320 с.).
10. Салосина М.О. Проектирование тепловой защиты солнечного зонда // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках:

сб. тезисов докладов XXI Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И.Леонтьева (Санкт-Петербург, 22 – 26 мая 2017). – Москва: Изд. дом МЭИ, 2017. – Т.2. – С. 51 – 52 (306 с.).

11. Салосина М.О. Оптимальное проектирование многослойного теплозащитного экрана солнечного зонда // Молодёжь и будущее авиации и космонавтики: сб. аннотаций конкурсных работ 9-го Всероссийского межотраслевого молодёжного конкурса научно-технических работ и проектов (Москва, 20 – 24 ноября 2017). – Москва: Типография «Люксор», 2017. – С. 166 – 167 (290 с.).
12. Салосина М.О. Оптимальное проектирование тепловой защиты космического аппарата с учетом структуры материала // Седьмая Российская национальная конференция по теплообмену (РНКТ-7): сборник тезисов докладов (Москва, 22 – 26 октября 2018). – Москва: Изд. дом МЭИ, 2018. – Т.3. – С. 447 – 450 (492 с.).
13. Салосина М.О. Проектирование тепловой защиты космического аппарата с учетом структуры высокопористого ячеистого материала // Авиация и космонавтика: сб. тезисов докладов 17-ой Международной конференции (Москва, 19 – 23 ноября 2018). – Москва: Типография «Люксор», 2018. – С. 343 – 344 (740 с.).
14. Салосина М.О. Проектирование тепловой защиты солнечного зонда с учетом структуры высокопористого ячеистого углеродного материала // Молодёжь и будущее авиации и космонавтики: сб. аннотаций конкурсных работ 10-го Всероссийского межотраслевого молодёжного конкурса научно-технических работ и проектов (Москва, 19 – 23 ноября 2018). – Москва: Типография «Люксор», 2018. – С. 188 – 189 (352 с.).

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы.** В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, отмечены новизна и достоверность полученных результатов, а также их практическая значимость и рекомендации по использованию результатов. Все отзывы положительные:



**Отзыв на диссертацию ведущей организации** – акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (АО «НПО Лавочкина»). **Отзыв положительный.** Имеются замечания и рекомендации:

1. Учитывая, что результаты работы распространяются на аппараты, спускаемые в атмосферах планет, следовало бы в системе граничных условий к уравнениям теплопроводности предусмотреть процессы термического разрушения материалов как на внешней, так и на внутренних поверхностях в зонах контакта материалов, поскольку при повышенных тепловых нагрузках, характерных на этапах аэродинамического торможения КА эти процессы неизбежны. Это придало бы работе большую практическую значимость.

2. В диссертации перенос тепла излучением в слоях ВПЯМ учитывается в рамках серой модели (без учета селективности излучения) – оптически плотной среды с использованием коэффициента поглощения излучения осредненного по Росселанду. Вместе с тем в работе было бы полезно рассмотреть другой предельный случай серой модели и исследовать вариант оптически тонкой среды с использованием коэффициента поглощения излучения, осредненного по Планку.

3. Не вполне четко представлен материал, относящийся к учету переноса тепла излучением в главе 2. Не указано, например, что приведенный (частный) случай уравнения переноса излучения (2.14) соответствует случаю локального термодинамического равновесия излучения с веществом, в котором этот перенос осуществляется. Не вполне четко приведено понятие приближения оптически плотной среды (с. 44).

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Горского Валерия Владимировича** – доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника акционерного общества «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения». **Отзыв положительный.** Имеются замечания:

1. Следовало бы отметить, что включение в состав конструкционного пакета ВПЯМ сопряжено с введением в расчет полуэмпирических моделей радиационно-кондуктивного теплообмена в этом материале, что сопряжено с возникновением определенных проблем с переносом результатов



экспериментальных исследований на натурные условия функционирования изделия. Это, в частности, иллюстрируется материалами, помещенными в четвертую главу диссертации, в которой показано, что при температурах, превышающих 1000 К расчетные и экспериментальные данные по коэффициенту теплообмену начинают существенно расходиться между собой.

2. Исследования, относящиеся к использованию новых технических решений, должны включать проведение анализа, свидетельствующего о серьезных преимуществах предлагаемой новой технологии.

3. Применение кубических В-сплайнов в задаче оптимальной аппроксимации результатов расчетных исследований может быть сопряжено с возникновением значительных погрешностей. И в этой связи использование кусочно-линейной аппроксимации функции представляется более предпочтительным.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Просунцова Павла Викторовича** – доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Отзыв **положительный**. Имеются замечания:

1. Не дано обоснование выбора выражения для вычисления коэффициента ослабления пористой среды (выражение 2.17).

2. Не освещен вопрос о выборе количества и границ спектральных интервалов при вычислении среднего коэффициента ослабления.

3. Автор называет использованный им приближенный метод решения уравнения переноса излучения «диффузионным приближением», хотя правильно было бы использовать название «метод Росселанда».

4. В некоторых местах работы, например, в п. 4.7, автор использует термин «коэффициент теплопроводности», не указывая, о каком собственно коэффициенте теплопроводности – кондуктивном или эффективном идет речь, что осложняет понимание текста.

**Отзыв на автореферат диссертации АО «УНИИКМ»**, г. Пермь, подписанный главным научным сотрудником отдела технологии силицирования, ученым секретарем НТС АО «УНИИКМ», кандидатом химических наук



А.Г. Щуриком, и утвержденный генеральным директором АО «УНИИКМ» В.Ю. Чунаевым. **Отзыв положительный.** Имеются замечания:

– приведенные в табл. 1 (стр. 18) числа значений средних диаметров ячеек показывают излишнюю точность их нахождения, поскольку ячеистые материалы, задаваемые производителями числом пор (20, 60, 80) на дюйм, в реальности имеют некоторые допуски на задаваемые числа, что влияет на величину среднего диаметра ячейки, как и на величину приведенного в этой же таблице отношения минимального и максимального «диаметров» стержня; приведенные автором экспериментальные результаты измерений параметров  $a$  и  $t$  (стр. 16) ВПЯМ RVC foam (США) иллюстрируют это.

– для теплового состояния космического аппарата автором выделена значимость величины теплового излучения Солнца в сравнении с его радиационной компонентой (стр. 6). При этом известно, что и «тепловая» и часть «радиационной» компоненты излучения Солнца имеют одну электромагнитную («радиационную») природу, которая для «тепловой» компоненты обусловлена низкочастотной («радиационной») частью солнечного спектра.

**Отзыв на автореферат диссертации федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт космических исследований Российской академии наук, г. Москва, подписанный заведующим лабораторией Астрофизических рентгеновских детекторов и телескопов, кандидатом технических наук Н.П. Семеной. Отзыв положительный.** Имеется рекомендательное замечание:

Радиационные факторы и микрометеориты могут существенно менять термооптические характеристики внешней поверхности, что будет приводить к изменению соотношения поглощенного, отраженного и излученного потоков. При чрезвычайно высоком уровне солнечной облученности, для которого предназначены рассматриваемые в работе типы теплозащиты, это может привести к существенному росту температуры внешней поверхности и выходу её за критический предел, поскольку уровни рабочих температур изоляции близки к предельно возможным значениям температуры для используемых материалов. В этой связи целесообразно провести анализ влияния изменения термооптических характеристик на температуру внешней поверхности



теплозащиты и поставить пределы их изменения, которые в будущем могут служить критериями при анализе радиационной и микрометеоритной деградации покрытия.

**Отзыв на автореферат диссертации ПАО «РКК Энергия», г. Королев, подписанный ведущим научным сотрудником ПАО «РКК Энергия», кандидатом физико-математических наук С.В. Журиным. Отзыв положительный.** Имеются замечания:

– в автореферате не приводятся убедительных доводов, что среда внутри структуры ВПЯМ является оптически плотной;

– не очевидна зависимость коэффициента теплопроводности ячеистого материала в формуле 9;

– для определения теплофизических свойств материала методами обратных задач теплообмена целесообразно использовать экспериментальные данные прогрева с различными программами нагрева.

**Отзыв на автореферат диссертации Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск, подписанный главным научным сотрудником Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом НАН Беларуси Н.В. Павлюкевичем и ведущим научным сотрудником Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, кандидатом технических наук М.С. Третьяком. Отзыв положительный.** Замечаний нет.

**Отзыв на автореферат диссертации ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», г. Москва, подписанный профессором кафедры Инженерной теплофизики ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», доктором технических наук, профессором, лауреатом премии Правительства РФ в области науки и техники Ю. А. Кузма-Кичтой. Отзыв положительный.** Имеется замечание:

Для сравнения с результатами расчета температуры поверхности использованы средние свойства рассмотренных образцов покрытия, хотя они могут отклоняться от свойств реальной структуры и поэтому желательно оценить их возможное влияние на результаты расчета.

**Отзыв на автореферат диссертации ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, подписанный профессором факультета ВМК МГУ имени М.В.**

Ломоносова А.М. Денисовым и деканом факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова, академиком РАН И.А. Соколовым. **Отзыв положительный.** Имеется замечание: недостаточно подробно описаны краевые условия на границах слоев.

**Отзыв на автореферат диссертации АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»,** г. Обнинск, подписанный начальником сектора научно-исследовательской лаборатории комплексных исследований свойств конструкционных материалов Р.А. Мироновым и математиком 2-й категории научно-исследовательского сектора расчёта напряженно-деформированного состояния и надежности изделий из керамических и композиционных материалов, кандидатом физико-математических наук П.В. Коваленко. **Отзыв положительный.** Имеются замечания:

– граничные условия задачи радиационно-кондуктивного теплообмена задаются помимо прочих уравнений с помощью контактных термических сопротивлений между слоями ( $R_1$ ), однако в дальнейшем вопрос выбора данных параметров не обсуждается;

– не затронут вопрос влияния размеров ячейки на кондуктивную составляющую теплопроводности ВПЯМ;

– не сформулированы границы применимости предлагаемых выражений для расчета радиационной теплопроводности. С практической точки зрения интересно было бы выяснить, до какого предела может быть экстраполирована установленная в работе закономерность об уменьшении радиационной теплопроводности с уменьшением размеров ячейки;

– один из результатов работы состоит в том, что получено решение задачи оптимизации, представляющее собой набор оптимальных значений структурных свойств материала. Установлено, что оптимум достигается при граничных значениях независимых переменных. Данный факт говорит об отсутствии противоречивого влияния оптимизируемых параметров на целевую функцию. Возможно, это связано с высокой пористостью материала, и следовало бы внести некоторые коррективы в постановку задачи оптимизации, дополнив ряд ограничений, например, параметрами напряженно-деформированного состояния конструкции, или расширив диапазон вариации независимых



переменных, не ограничиваясь свойствами существующих материалов. Это позволило бы установить направления развития для создания новых материалов;

– результаты работы могут быть использованы при проектировании авиационной и космической техники. Однако для исследования в работе выбраны материалы зарубежного производства, что делает практически невозможным их применение в указанных отраслях в промышленных масштабах.

**Отзыв на автореферат диссертации ОИВТ РАН, г. Москва, подписанный заведующим лабораторией № 8 ОИВТ РАН, доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН А.Ю. Вараксиным. Отзыв положительный.** Имеются замечания:

– на с. 6 автореферата говорится о том, что «эффекты, обусловленные радиационным воздействием и ударным воздействием высокоскоростных частиц пылевого облака короны Солнца, не оказывают заметного влияния на процесс теплообмена в многослойном теплозащитном экране, и могут не учитываться при его проектировании», однако, другие допущения разработанной математической модели не описаны должным образом;

– вызывает вопрос о необходимости приведения 5-6 значащих цифр для среднего диаметра ячейки структур RVC-20, RVC-60 и RVC-80 (см. таблицу 1, с. 18 автореферата).

**Отзыв на автореферат диссертации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск, подписанный заведующим научно-исследовательской лабораторией моделирования процессов конвективного теплопереноса Томского государственного университета, доктором физико-математических наук, доцентом М.А. Шереметом. Отзыв положительный.** Имеются замечания:

– из реферата не ясно, чем обусловлен выбор условий сопряжения на внутренних границах между слоями покрытия (рассматривается граничное условие четвертого рода в случае идеального контакта на границах слоя высокопористого ячеистого материала, а на остальных внутренних границах

моделируется граничное условие четвертого рода в случае неидеального контакта);

– исследования проводятся в рамках переменности теплофизических характеристик среды. Следовало включить математическое описание используемых зависимостей для рассматриваемых теплофизических параметров;

– следовало описать параметры используемых при численном решении пространственно-временных сеток.

**Выбор официальных оппонентов** обоснован тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в области исследований диссертационной работы.

**Горский Валерий Владимирович** имеет ученую степень доктора технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. За последние 5 лет имеет 8 публикаций в рецензируемых научных изданиях. Тематика публикаций связана с направлением исследований диссертации.

**Просунцов Павел Викторович** имеет ученую степень доктора технических наук по специальностям 05.07.01 – Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов и 05.07.07 – Контроль и испытание летательных аппаратов и их систем. За предыдущие 5 лет имеет 10 публикаций в рецензируемых научных изданиях. Тематика публикаций связана с направлением исследований диссертации.

**Вышеизложенное позволяет считать, что выбор официальных оппонентов является обоснованным, соответствует постановлению Правительства РФ о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24 сентября 2013 г. и положению о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденному приказом Министерства образования и науки РФ № 1093 от 10 ноября 2017 г.**

**Выбор ведущей организации** обоснован тем, что её специалисты имеют значительный и уникальный опыт разработки систем тепловой защиты космических аппаратов, а их достижения в отраслях науки, соответствующих тематике диссертации, широко известны:



1. Golomazov M.M., Ivankov A.A. Software package for the development of thermal protection systems for spacecraft descent into the atmospheres of planets // Solar System Research. 2018. T. 52. № 7. С. 578-589.

2. Alekseev S.V., Aksenova I.V., Ivanova E.K., Kharitonova E.V., Lokhov A.A. On developing the design of the protective heat shield for the Interhelio-zond spacecraft // Solar System Research. 2018. T. 52. № 7. С. 680-683.

3. Котляров Е.Ю., Луженков В.В., Тулин Д.В., Басов А.А. Система терморегулирования негерметичного приборного отсека КА «Интергелиозонд» для исследования Солнца с близких расстояний // Космическая техника и технологии. 2018. № 4 (23). С. 5-15.

4. Аношко И.А., Ермаченко В.С., Пенязьков О.Г., Протасеня В.Т., Финченко В.С. О результатах испытаний некоторых теплозащитных материалов для системы тепловой защиты спускаемого аппарата, входящего в атмосферу Марса // Тепловые процессы в технике. 2017. Т. 9. № 2. С. 66-75.

5. Истратов А.Ю., Погодин А.В., Хоменко И.И., Привезенцев А.С. Прогнозирование тепловых режимов оборудования космического аппарата // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 4 (38). С. 68-75.

6. Горшков А.Б., Пугачёв В.А., Устинов С.Н. Расчёт аэротермодинамических параметров десантного модуля ДМ-18 проекта «Экзомарс» при спуске в атмосфере Марса // Космонавтика и ракетостроение. 2016. № 6 (91). С. 36-44.

7. Голомазов М.М., Иванков А.А. Численное исследование влияния частиц атмосферы марса на конструкцию теплозащиты десантного модуля «Экзомарс-2» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 2 (32). С. 11-21.

8. Тулин Д.В., Виноградов И.С., Шабарчин А.Ф., Привезенцев А.С., Гончаров К.А. Система обеспечения теплового режима космического радиотелескопа // Космические исследования. 2014. Т. 52. № 5. С. 423.

9. Золотарев В.Ю., Котляров Е.Ю., Финченко В.С., Тулин Д.В. Гибридная система терморегулирования посадочного лунного модуля на базе жидкостного контура с механическим насосом // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2014. № 5 (31). С. 83-93.

10. Аношко И.А., Ермаченко В.С., Пенязьков О.Г., Сандригайло Л.Е., Финченко В.С. Экспериментальная отработка тепловой защиты десантного модуля аппарата «Экзомарс» // Тепловые процессы в технике. 2014. Т. 6. № 10. С. 475-480.

11. Финченко В.С., Устинов С.Н., Луженков В.В., Котляров Е.Ю., Еремин И.В., Тырышкин И.М. К вопросу об изменении углового положения панели солнечных батарей с целью обеспечения ее теплового режима, применительно к космическому аппарату Интергелиозонд // Тепловые процессы в технике. 2014. Т. 6. № 7. С. 308-316.

**Диссертационный совет отмечает:**

1. Считать диссертационную работу Салосиной М.О. научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и методики, имеющие существенное значение при проектировании тепловой защиты солнечных и планетарных зондов, изготавливаемой из высокопористых композиционных материалов.

2. На основании выполненных соискателем исследований:

– **разработан** новый метод оптимального проектирования многослойной тепловой защиты с учетом возможности выбора параметров структуры высокопористых ячеистых материалов;

– **доказано**, что используемая в работе математическая модель радиационно-кондуктивного теплообмена адекватно отражает процессы кондуктивной теплопроводности и излучения в высокопористом ячеистом материале.

– **выполнена** верификация разработанного метода путем сравнения теоретических результатов с экспериментальными данными;

– разработанный метод **внедрен** в инженерную практику проектирования в АО «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина».

– **новые понятия** не вводились.

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

– **предложена** новая методология проектирования теплонагруженных конструкций, основанная на одновременном выборе макро- и микропараметров системы.



– **доказано**, что предложенные в работе алгоритмы проектирования устойчивы к погрешностям исходных данных.

– **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы решения обратных задач радиационно-кондуктивного теплообмена.

– **изложены** основные принципы построения алгоритмов проектирования многослойной тепловой защиты с учетом возможности выбора параметров структуры высокопористых ячеистых материалов.

– **раскрыты** новые возможности использования методов численной оптимизации по определению геометрических параметров систем и морфологической структуры используемых материалов.

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

– **определены** перспективы применения разработанных метода и алгоритма для решения широкого круга прикладных задач, включающих проектирование систем тепловой защиты летательных аппаратов различного назначения, функционирующих в условиях экстремальных тепловых воздействий, в том числе солнечных и планетарных зондов, что подтверждено соответствующим актом;

– **разработанный** подход используется при проектировании перспективных теплонагруженных конструкций в АО «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»;

– **представлены** методические рекомендации и предложения по применению разработанной методологии для определения и анализа параметров систем тепловой защиты.

– **проведен** комплекс работ по экспериментально-расчетным исследованиям теплофизических характеристик перспективных высокопористых теплозащитных материалов. Сопоставлены температурные зависимости, полученные в результате расчета с использованием определяемых характеристик и измеренных в эксперименте. При этом расхождение между расчетными и измеренными температурами не превосходит 10 %.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

– **теоретические выводы**, в частности, математические модели, расчетные методики и результаты расчетов и их анализа, получены достоверными методами численной оптимизации, обратных задач радиационно-кондуктивного теплообмена и имитационного моделирования, описывающего сущность изучаемого явления и отвечающих поставленным целям и задачам работы;

– **установлено** соответствие результатов математического моделирования с экспериментальными данными;

– **использован** экспериментальный материал, полученный высокоточными методами температурных измерений;

– основные положения и результаты работы **опубликованы** в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, а также **доложены** на конференциях, семинарах и научно-техническом совете.

**Личный вклад** соискателя состоит в следующем:

- проведен анализ опыта проектирования многослойных теплозащитных покрытий летательных аппаратов, а также существующих математических моделей теплообмена в высокопористых ячеистых материалах с учетом зависимости плотности потока излучения от структуры материала;
- осуществлена постановка задачи исследования: разработка метода и алгоритма оптимального проектирования многослойного теплозащитного покрытия с учетом возможности выбора параметров структуры высокопористых ячеистых материалов;
- проведены экспериментально-расчетные исследования процесса теплообмена в плоском слое высокопористого ячеистого материала методом обратных задач теплообмена;
- разработанный алгоритм верифицирован путем сравнения теоретических результатов с экспериментальными данными.

Приведенные положения позволяют заключить, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной, имеющей существенное практическое и теоретическое значение для развития и создания изделий космической техники, что соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых



степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 26 декабря 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Салосиной Маргарите Олеговне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов и 6 докторов технических наук по специальности 05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 19, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета Д 212.125.10

д.т.н., профессор

Ю.И. Денискин

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.125.10

к.т.н., доцент

А.Р. Денискина

