



# ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО

Федеральное государственное унитарное предприятие  
"Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина"



Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, Российская Федерация, 141400  
тел. (495) 573-56-75, факс (495) 573-35-95,  
e-mail: npol@iaspace.ru, http://www.iaspace.ru

04 ДЕК 2015

№

102/8510

на №

от

Председателю диссертационного совета  
Д 212.125.08 при Московском авиационном  
институте (национальном исследовательском  
университете), доктору технических наук,  
профессору  
Ю.А. Равиковичу

125993, г. Москва, Волоколамское ш., д. 4

Утверждаю

Исполняющий обязанности  
генерального директора  
кандидат экономических наук



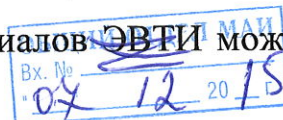
С.А. Лемешевский

2015 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Крайновой Ирины Валерьевны  
«Разработка и идентификация математических моделей теплопереноса в  
экрано-вакуумной теплоизоляции космических аппаратов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Решение задачи обеспечения теплового режима космического аппарата  
играет ключевую роль при формировании его проектного облика. Одним из  
эффективных способов поддержания заданной температуры на внешних  
поверхностях КА является применение экрано-вакуумной теплоизоляции  
(ЭВТИ) с соответствующими свойствами. Свойства материалов ЭВТИ можно



предсказывать уже на стадии их проектирования и разработки с использованием методов физического и математического моделирования.

Единственным путем, позволяющим наиболее точно определять теплофизические и радиационно-оптические свойства конструкций, особенно сложного состава, является не прямое измерение. Данный подход математически представляет собой решение обратной задачи: по прямым измерениям состояния системы определяются свойства анализируемой системы.

В настоящее время, в связи с повышением требований к точности расчета тепловых изоляций космических аппаратов, возникает необходимость учитывать все значимые факторы. В известной литературе и инженерных расчетах используемые тепловые модели ЭВТИ не учитывают влияния волокнистых разделительных слоев, расположенных между экранами, на перенос тепла в ЭВТИ.

В уточненной математической модели теплопереноса в ЭВТИ космических аппаратов особое внимание уделено влиянию на перенос тепла радиационных характеристик волокнистых разделителей и возможного оксидного слоя на поверхности металлических экранов, представлен алгоритм решения обратной задачи теплообмена, позволяющий определять теплофизические характеристики ЭВТИ с высокой точностью, что делает данную работу актуальной.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 148 страниц основного текста, содержащий в себе 62 рисунка, 6 таблиц и список литературы из 58 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы. Отмечена новизна, а также достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы.

В первой главе диссертационной работы приведен краткий обзор используемых в настоящее время экрано-вакуумных теплоизоляций.

Рассмотрены основные виды тепловых потоков, воздействующих на КА во время орбитального полета, особенности их моделирования.

Во второй главе рассмотрены процессы переноса излучения в элементе ЭВТИ с учетом наличия разделительного слоя между экранами. Получена аналитическая зависимость для определения потока излучения через слой ЭВТИ, учитывающая отражение и пропускание излучения высокопористого волокнистого разделителя, определяемые на основании теории независимости рассеяния и теории Ми для бесконечного однородного цилиндра. Учтено наличие возможной оксидной пленки на поверхности экранов. Оценено влияние рассмотренных параметров теплоизоляции на поток теплового излучения через слой ЭВТИ.

В третьей главе представлена апробация методики по определению теплового потока через слой ЭВТИ, проводимая при обработке данных тепловых испытаний образцов, имитирующих элементы ЭВТИ, и результатов экспериментального исследования реального образца ЭВТИ. Составлена математическая модель теплообмена в ЭВТИ, учитывающая наличие разделительных слоев между экранами. Доказана достоверность предложенной модели.

В четвертой главе представлен алгоритм решения задачи идентификации математической модели ЭВТИ, учитывающей наличие разделительных слоев. Разработан итерационный алгоритм для решения такой задачи, получены аналитические выражения для вычисления градиента функционала невязки и составлена краевая задача для сопряженной переменной. Также получена краевая задача для вариации температуры, позволяющая вычислить линейную оценку глубины спуска. С использованием разработанного алгоритма восстановлены значения спектральной излучательной способности нагреваемой керамической ткани  $\varepsilon_{a,\lambda}$ . Показано, что предложенный алгоритм позволяет вычислять искомую величину с высокой точностью.

Таким образом, можно сделать вывод, что полученные автором результаты являются новыми и имеют научную ценность. Достоверность

полученных результатов подтверждается результатами численного моделирования и экспериментальных исследований образцов.

Практическая значимость данной работы состоит в разработке прикладного алгоритмического и программного обеспечения, которое может быть использовано для определения и выбора характеристик ЭВТИ.

Результаты работы могут быть использованы на ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» и других ведущих предприятиях ракетно-космической отрасли; АО «ИСС им. М.Ф. Решетнева, ОАО «Корпорация «Комета», АО «Корпорация «ВНИИЭМ» и т.д.

**Отметим замечания по диссертации:**

1. Представить описание характеристик экспериментального стенда ТВС-1М.

2. В списке литературы присутствуют многочисленные ссылки на известные работы, в том числе и фундаментальные, где приводятся методы расчета ЭВТИ. Следует привести сравнения расчетов по предложенной автором методике с другими методами.

3. Некорректное определение "реальный" экспериментальный нагрев, «реальный» эксперимент, встречающиеся в тексте. Более правильно было бы написать "проведенный" или "выполненный" (стр. 137).

4. При оценке проводимых расчетов используется определение "небольшие погрешности". Правильнее было бы образмерить погрешность.

5. Замечание по оформлению – крупнее напечатать формулы.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки работы. В целом, диссертация Крайновой И.В. является законченным исследованием на актуальную тему и выполнена на высоком научном уровне. Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Основные результаты диссертации опубликованы в 7-ми публикациях в научных изданиях, 3 из которых – в рецензируемых журналах, рекомендуемых Перечнем ВАК при Министерстве образования и науки РФ.

Считаем, что по совокупности полученных результатов диссертационная работа «Разработка и идентификация математических моделей теплопереноса в экранно-вакуумной теплоизоляции космических аппаратов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника соответствует критериям 9-14 Положения о присвоении ученых степеней, а ее автор Крайнова И.В. заслуживает присвоения ученой степени кандидат технических наук по названной специальности.

Диссертация рассмотрена на Научно-техническом Совете ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина». Отзыв ведущей организации утвержден. Протокол № 9 заседания НТС от 03.12. 2015 г.

Кандидат технических наук,  
И.о. генерального конструктора  
ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»  
141400, г. Химки, Московская обл.,  
ул. Ленинградская, д. 24  
тел. 8(495) 573-17-83  
e-mail maxim.martynov@laspace.ru

  
М.Б. Мартынов

03.12.15

Доктор технических наук, профессор  
Помощник генерального директора по науке  
ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»  
141400, г. Химки, Московская обл.,  
ул. Ленинградская, д. 24  
тел.: 8(495)513-23-61  
e-mail: vladimir\_efanov@laspace.ru

  
В.В. Ефанов

3.12.2015

Зам. начальника центра  
ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»  
141400, г. Химки, Московская обл.,  
ул. Ленинградская, д. 24  
тел.: 8(495)575-50-82  
e-mail: ust@laspace.ru

  
С.Н. Устинов

3.12.15

ВЕРНО:

Заместитель генерального  
директора по персоналу

  
М.В. Данильченко

04.12.15

