



Государственный научный центр Российской Федерации

Акционерное общество  
«Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» им. А. Г. Ромашина»  
(АО «ОНПП «Технология» им. А. Г. Ромашина»)

249031, г. Обнинск Калужской обл., Киевское шоссе, 15  
(484) 396-39-87, (484) 399-68-68,  
факс (484) 396-45-75, телетайп 183507 "Алмаз"  
info@technologiya.ru; technologiya.ru

ОКПО 07548617; ОГРН 1114025006160;  
ИНН/КПП 4025431260/402501001

18.12.2019 № 13372  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
Диссертационного совета  
Д 212.125.10 при ФГБОУ ВО  
МАИ (НИУ)  
Денискиной А.Р.  
Волоколамское шоссе, д. 4,  
ГСП-3, А-80, г. Москва, 125993  
E-mail: dar@mai.ru

О направлении отзыва

Уважаемая Антонина Робертовна!

Направляем Вам отзыв на автореферат диссертационной работы Салосиной Маргариты Олеговны «Методы исследования и проектирования тепловой защиты солнечного зонда с учетом параметров структуры теплозащитных материалов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 05.07.02 – проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов и 05.07.03 – прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Приложение: Отзыв на 3 л. в 2 экз.;

Ученый секретарь,  
кандидат технических наук

 Н.И.Ершова

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № \_\_\_\_\_  
24 12 2019

Атрохин Илья Сергеевич  
8 (484) 399-67-72



064273

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Салосиной Маргариты Олеговны на тему: «**Методы исследования и проектирования тепловой защиты солнечного зонда с учетом параметров структуры теплозащитных материалов**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 05.07.02 – проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов и 05.07.03 – прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

При проектировании узлов авиационной и космической техники остро стоит вопрос обеспечения минимального веса при соблюдении эксплуатационных требований. Одним из важных требований в силу особенностей режимов эксплуатации таких изделий является обеспечение температурного состояния элементов конструкции, работоспособность которых чувствительна к фактору тепловой нагрузки. Теплозащитные укрытия для таких элементов, как правило, выполняются многослойными, где каждый слой выполняет свою функцию в обеспечении необходимых свойств всей конструкции – оптических, жёсткостных, теплоизолирующих и др. Рациональный компромисс между геометрическими и теплофизическими параметрами многослойной теплозащиты и весовыми требованиями представляет собой математическую задачу оптимизации. В своём диссертационном исследовании М.О.Салосина ставит задачу разработки методов и алгоритмов решения такого класса задач. С этой точки зрения работа является хорошим примером применения научного исследования для решения актуальной прикладной задачи.

Для проектирования оптимальной теплозащиты автором выбран теплоизоляционный высокопористый ячеистый материал (ВПЯМ) на основе пеностеклоуглерода. Его преимуществом является возможность влиять при его производстве на параметры структуры, которые обеспечивают требуемые теплофизические и массовые характеристики.

В первой главе дается постановка задачи оптимизации, выбирается вектор независимых переменных – толщины слоёв, размеры ячейки, пористость, определяется целевая функция с наложенными ограничениями по температуре на границах слоёв.

Во второй главе выполняется постановка задачи радиационно-кондуктивного теплообмена (РКТ), использованной при численном решении задачи оптимального проектирования. Рассматривается задача одномерного теплопереноса в многослойной конструкции. В работе используется модель эффективной теплопроводности. Кондуктивная составляющая коэффициента теплопроводности рассчитывается из теплопроводности твердого материала и пористости ВПЯМ. Для расчета радиационной составляющей теплопроводности используется приближение Росселанда. Средний по Росселанду коэффициент ослабления рассчитывается на основе результатов статистического моделирования и связывает теплопроводность и микроструктурные характеристики ВПЯМ.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 24 12 2019

Вторая глава посвящена выбору и описанию метода решения задачи оптимизации, которая составляет основную теоретическую суть работы. Описанный алгоритм решения состоит в поиске экстремума целевой функции с помощью итерационной последовательности решений задачи РКТ методом конечных разностей.

В третьей главе представлены результаты оптимального проектирования. Достоинством данных расчетов является использование приближенных к реальным условиям параметров теплового нагружения. Численно показано, что целесообразно использовать теплозащиту с минимальным размером ячейки при максимально возможной пористости, а толщина теплозащитного слоя зависит от плотности падающего теплового потока.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментального исследования теплофизических свойств ВПЯМ (теплопроводности и теплоемкости), проводится их сравнение с результатами решения обратной задачи теплообмена, показано достаточно хорошее согласие численных и эмпирических данных.

Пятая глава посвящена экспериментальному и расчетному исследованию влияния параметров микроструктуры ВПЯМ на ее теплоизолирующие свойства. Основным результатом данной главы является подтверждение вывода о том, что лучшими теплоизолирующими свойствами при фиксированной пористости материала обладают ВПЯМ с меньшим размером ячейки.

Следует отметить практическую значимость выполненной диссертантом автоматизации всех применяемых вычислительных процедур. Разработанное программное обеспечение, реализующее алгоритмы решения комплекса описанных в работе математических задач, может быть использовано в прикладных инженерных целях, что позволит оперативно находить оптимальные конструкторские решения.

В качестве замечаний к работе можно выделить следующие:

1) Граничные условия задачи радиационно-кондуктивного теплообмена задаются помимо прочих уравнений с помощью контактных термических сопротивлений между слоями ( $R_i$ ), однако в дальнейшем вопрос выбора данных параметров не обсуждается.

2) Не затронут вопрос влияния размеров ячейки на кондуктивную составляющую теплопроводности ВПЯМ.

3) 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.

4) 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.

5) 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.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей научной и практической ценности работы. Диссертация выполнена на высоком научном уровне и представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу.

Полученные результаты достаточно полно представлены в публикациях автора и объективно отражают содержание диссертации.

Диссертационная работа отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Салосина Маргарита Олеговна заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 05.07.02 – проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов и 05.07.03 – прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Начальник сектора научно-исследовательской  
лаборатории комплексных исследований свойств  
конструкционных материалов



Р.А.Миронов

Математик 2 категории научно-исследовательского сектора расчёта напряженно-деформированного состояния и надёжности изделий из керамических и композиционных материалов, кандидат физико-математических наук по специальности 01.02.04.



П.В.Коваленко

АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»  
Государственный научный центр Российской Федерации  
249031, г.Обнинск, Калужской области, Киевское шоссе, 15  
E-mail: info@technologiya.ru, факс (484) 396-45-75

Подпись начальника сектора Р.А.Миронова и математика 2 к. П.В.Коваленко заверяю:

Начальник ОКА  
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»



Е.А.Чуканова