

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор

ОАО «Композит», д.т.н.

Береснев А.П.

«28» 04.

2015 г.



## **ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертацию

Середы Геннадия Николаевича

«Физическое и математическое моделирование теплообмена в керамических конструкционных материалах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

В современных антенных обтекателях (АО) ракет широко применяют керамические материалы, обладающие высокой прочностью, стойкостью к тепловым ударам и радиопрозрачностью. Увеличение скорости полета ракет в атмосфере приводит к возрастанию нагрузок на обтекатель, повышению температуры его поверхности до  $1500 \div 2000$  К, интенсификации теплообмена в нём и снижению его теплозащитных и прочностных показателей. Прогнозирование теплообмена в таких элементах невозможно без знания их теплофизических характеристик (ТФХ), которые известны, как правило, от комнатной температуры до 1100 К, а данные по ТФХ ряда перспективных материалов, например, стеклокерамики и нитридной керамики, даже в этом интервале температур отсутствуют.

Одной из важнейших характеристик в оценке теплового режима конструкции является коэффициент теплопроводности материала, рассчитываемый по

результатам косвенных измерений с помощью аппарата обратных задач (ОЗ) математической физики.

Традиционные методы определения этой характеристики основаны на стационарных или регулярных режимах одномерного теплообмена исследуемого образца. Чем выше уровень температурных исследований, тем продолжительней эксперимент и тем сложнее испытательное оборудование.

Таким образом, в настоящее время актуальна разработка новых методов и средств определения ТФХ материалов керамических АО, одновременно обладающих высокой производительностью и точностью, соответствующих возможностям современной техники.

**Цель диссертационной работы** – определение коэффициентов теплопроводности конструкционной керамики в области температур от 300 до 1673 К и темпов нагрева до 5 град/с на основе комплексного – математического и физического моделирования тепловых процессов в экспериментальных образцах материалов и измерительных узлах стенда теплофизических исследований с установкой одностороннего радиационного нагрева.

Поставленная цель достигается на основе решения следующих **задач**:

– Оптимизация эксперимента на основе моделирования теплообмена в керамических материалах при одностороннем радиационном нагреве образцов до температуры 1673 К.

– Разработка физических и математических моделей прогнозирования теплообмена для выбора режимов нагрева, формы и размеров образцов, параметров оборудования, оценки погрешностей эксперимента.

– Разработка автоматизированного стенда теплофизических исследований керамических материалов с установкой радиационного нагрева образцов в области измерения температуры от 300 до 1673 К и темпов нагрева до 50 град/с.

– Разработка методики определения эффективного коэффициента теплопроводности, получение новых расчетно-экспериментальных данных о теплопроводности исследуемых материалов, оценка погрешностей их определения и

анализ закономерностей теплообмена в керамических материалах по результатам проведённых экспериментов.

Последовательность проведенных исследований и изложение в представленной работе полученных результатов свидетельствуют о соответствии содержания работы заявленной цели. Теоретические и методические положения, предлагаемые соискателем, а также полученные выводы и результаты характеризуются высоким научным уровнем и новизной.

#### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности**

Содержание диссертации соответствует позиции паспорта специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника: п.1 «Экспериментальные исследования термодинамических и переносных свойств чистых веществ и их смесей в широкой области параметров состояния», п.4. «Экспериментальные и теоретические исследования процессов взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом».

#### **Личный вклад соискателя в получении результатов исследования**

Состоит в формулировке основных подходов в постановке экспериментальных исследований ТФХ, разработке методов моделирования теплообмена, анализе и обобщении полученных результатов, обоснованию и проверке реализации схемных решений по автоматизированному стенду теплофизических исследований. Все основные результаты и выводы получены лично автором.

#### **Степень достоверности результатов исследования**

Обоснованность полученных и представленных автором в работе результатов и положений, выносимых на защиту, их оригинальность и достоверность подтверждается сходимостью с результатами определения ТФХ керамических материалов традиционными методами: квазистационарным, импульсным, лазерной вспышки.

#### **Научная новизна полученных результатов**

– Впервые при исследовании теплопроводности керамических материалов научно обоснован подход к оптимизации теплофизического эксперимента с применением критерия оценки минимизации затрат.

– Разработана математическая модель сопряжённого, радиационно-кондуктивного теплообмена в элементах конструкции стенда радиационного нагрева, позволившая выбрать форму и размеры образцов исследуемых материалов, режимы их испытаний, а также оптимизировать мощность электрических нагревателей.

– Предложена методика расчёта погрешности определения теплопроводности материала с использованием теории статистико-вероятностных критериев оценки.

– Разработана методика определения коэффициентов теплопроводности новой термостойкой керамики на основе диоксида кремния и нитрида кремния при температурах до 1673 К с методической погрешностью, не превышающей 7%.

### **Практическая ценность полученных автором диссертации результатов**

– Создан автоматизированный стенд высокопроизводительных теплофизических исследований керамических материалов с односторонним радиационным нагревом образцов в диапазоне изменения температур от 300 до 1673 К и темпов нагрева до 50 град/с, удовлетворяющий условиям повторяемости результатов и представительной выборки в заданных диапазонах температур и темпов нагрева исследуемых материалов.

– Получены расчетно-экспериментальные данные по теплопроводности перспективных керамик на основе диоксида кремния и нитрида кремния марок НИАСИТ-8ПП, ОТМ-357, ОТМ-904 в диапазоне температур от 300 до 1673 К и темпа нагрева 5 град/с, которые нашли применение в теплопрочностных расчётах элементов конструкций авиационной и ракетно-космической техники.

– Разработанные и апробированные математические модели, методы и средства исследований используются для определения коэффициентов теплопроводности керамических материалов антенных обтекателей, создаваемых в ОАО «ОНПП «Технология».

– Проведенные в данной работе исследования и разработанное на их основе оборудование позволили повысить температуру определения коэффициента теплопроводности перспективных керамических материалов с 1100 К до 1673 К и более чем на два порядка величины сократили время проведения эксперимента, в

двадцать пять раз уменьшили расход электроэнергии, потребляемой в эксперименте.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Предложенные соискателем направления по использованию полученных результатов, в том числе по дальнейшему развитию методов, средств по автоматизированному определению ТФХ керамических являются правомерными и необходимыми с научно-практической точки зрения для повышения эксплуатационных характеристик АО.

Результаты и выводы диссертации целесообразно использовать на предприятиях, разрабатывающих новые конструктивные элементы с применением перспективных керамических материалов, таких как ОАО «ОКБ «Новатор», ОАО «ГосМКБ «Вымпел», ОАО «НПК «КБМ», ОАО «ДНПП», ОАО «Композит», ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова и других, а также в организациях, ведущих теплофизические исследования в области высоких температур, таких как ФГУП ГНЦ ВИАМ, ОИВТ СО РАН, ОАО «Композит», МАИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана и других.

### **Замечания по диссертационной работе:**

1) Недостаточно полно раскрыто влияние оптических характеристик исследуемых керамических материалов на результаты оценки эффективного коэффициента теплопроводности, полученные автором в ходе проведения тепловых испытаний модельных образцов.

2) В качестве одного из условий проведения эксперимента автором выбран способ нагрева образца излучением, исключаяющим возможное изменение структуры исследуемого материала в процессе нагрева. Однако далее в тексте диссертации не дается пояснения этого решения и не проводится пример структуры образца до и после испытания.

3) В тексте главы 4 диссертации не указано, какое количество образцов исследуемых материалов испытано, т.е. на каком объеме выборки получены приведенные зависимости коэффициента теплопроводности от температуры.

4) Автор не представил сравнение собственных экспериментальных данных с данными отечественных и зарубежных исследователей на стандартных, широко

распространенных в практике машиностроения типах керамики. Хотя теплофизические исследования материалов такого типа проводятся более 50 лет, и опубликованные данные доступны для анализа.

Указанные недостатки не затрагивают основного содержания диссертации Середы Г.Н., полученных результатов, выводов, рекомендаций. Результаты диссертации обоснованы автором, обладают научной новизной и имеют существенную ценность с научной и практической точки зрения.

**Заключение по диссертации о соответствии ее требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» по пунктам 9, 10 и 14**

Диссертация обладает внутренним единством, содержит выносимые для публичной защиты обоснованные научные результаты и положения, обладающие новизной, практической и теоретической значимостью. Содержание диссертационной работы свидетельствуют о конкретном вкладе Середы Г.Н. в научное обеспечение разработок новой ракетной техники.

Результаты диссертационного исследования использованы в деятельности ГНЦ ОАО «ОНПП «Технология» для определения ТФХ перспективных керамических материалов на основе диоксида кремния и нитрида кремния. Согласно требованиям ГОСТ Р 7.0.11 – 2011 и п. 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней в диссертации не содержится заимствованный материал без ссылок на авторов и источники заимствования.

Диссертация Середы Геннадия Николаевича на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней и является научно-квалификационной работой, в которой содержатся научно-обоснованные технические решения в области теплофизики, относящиеся к совершенствованию методов и средств высокотемпературных тепловых испытаний, ориентированных на определение ТФХ керамических материалов, применяемых в антенных обтекателях ракет.

Автор диссертационной работы – Серeda Г.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заключение рассмотрено на подсекции НТС Института неметаллических материалов ОАО «Композит» 20 апреля 2015 года, протокол № 10.

Директор института неметаллических материалов – Заместитель генерального директора, к. ф.-м. н.



Дворецкий А.Э.

Начальник сектора 02261, к.т.н.



Кладов М.Ю.

Ученый секретарь подсекции НТС, к.т.н.



Арсланова Н.И.

Адрес: 141070, Московская область, ул. Пионерская, д 4.

Телефон: +7 (495) 513-22-22

E-mail: [info@kompozit-mv.ru](mailto:info@kompozit-mv.ru)

Организация: Открытое акционерное общество «Композит».