

## О Т З Ы В

официального оппонента

доктора технических наук, профессора Елисеева Виктора Николаевича на диссертацию Моржухиной Алёны Вячеславовны "Высокоточные методы экспериментального и математического моделирования процессов теплообмена в слоях высокопористых теплозащитных покрытий летательных аппаратов", представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.14 – "Теплофизика и теоретическая теплотехника" (технические науки), 05.07.03 – "Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов".

### **Актуальность темы исследования**

Создание современных высокоскоростных летательных аппаратов тесно связано с необходимостью защиты отдельных элементов их конструкции от воздействия больших тепловых нагрузок. Использование для конструирования таких аппаратов существующих и новых теплозащитных материалов требует знания их свойств. В основе определения зависимости теплофизических свойств материалов от температуры лежит, как правило, её измерение термопарами, показания которых характеризуют лишь свою собственную температуру, отличную от температуры исследуемого материала в месте их установки. Существует много причин, влияющих на это отличие, особенно при измерении температуры частично прозрачных материалов пористой структуры: отвод теплоты по электродам, нагревание их проникающим внешним и собственным излучением материала, термическое сопротивление в зоне контакта термопары с материалом и пр. Всё это неизбежно отражается на точности измерения температуры и определении теплофизических характеристик материала. В связи с этим рассматриваемая автором проблема исследования погрешностей измерения

температуры в высокопористых материалах с помощью термопар представляется безусловно актуальной.

Автор справедливо отмечает, что неточности в исходных теплофизических данных при проектировании теплозащитных систем летательных аппаратов (ЛА) приходится учитывать за счёт увеличения толщин слоёв теплозащитных пакетов, которые тем больше увеличивают суммарную массу теплозащиты, чем выше погрешность в определении теплофизических свойств материалов.

Основная цель работы – создание методики обработки результатов термопарных измерений в высоко- и ультрапористых теплозащитных материалах в условиях их нестационарного нагрева. В частности, поставлена задача разработки математических методов и модели определения температурного поля внутри образца полупрозрачного материала, используемого в качестве теплозащитного покрытия ЛА в условиях нестационарного радиационно-кондукторного нагрева.

### **Научная новизна и достоверность результатов работы**

1. В работе автора разработаны и исследованы численные методы и программа, позволяющие моделировать процесс радиационно-кондуктивного теплообмена в экспериментальных образцах пористых частично прозрачных материалов, а также определять их тепловое состояние при нестационарном тепловом воздействии.

2. Для проведения экспериментального исследования теплового состояния высокопористого материала разработана совокупность новых конструктивно-технологических решений экспериментального модуля. Что позволило, в частности, в ходе эксперимента осуществлять непрерывное сопоставление заданного и моделируемого теплового нагружения образца.

3. Выявлены основные факторы, влияющие на погрешность измерения температуры термопарами, исследована величина возникающих погрешностей в широком диапазоне их изменения с учётом основных особенностей теплопереноса в высокопористом теплозащитном материале.

Достоверность и обоснованность полученных в диссертации результатов исследования подтверждается сравнением их с известными решениями отдельных задач другими авторами и сравнением результатов численного моделирования с экспериментом, выполненным самим автором.

### **Теоретическая и практическая ценность работы**

Диссертация А.В. Моржухиной имеет прикладной характер. Полученные в ней результаты вполне могут быть использованы в процессе планирования и проведения экспериментальных исследований свойств высокопористых теплозащитных материалов, для уточнения теплофизических характеристик материалов указанного класса, определения свойств новых материалов такого же типа и при проектировании теплозащитных покрытий элементов конструкций ЛА.

Работа может быть также востребована с целью анализа и оценки погрешностей температурных измерений, которые влияют на точность определения теплофизических свойств высокопористых теплозащитных и теплоизоляционных материалов.

### **Апробация работы и публикации**

Основные результаты работы докладывались автором на пяти конференциях, в том числе на трёх международных. Опубликовано две и приняты к публикации ещё три работы в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК при Министерстве образования и науки РФ.

### Замечания по диссертации

1. В разделе "Научная новизна" на стр.7 говорится, что в ходе всего теплофизического эксперимента осуществлялся непрерывный контроль точности измерения. По-видимому, речь идёт не о контроле точности измерения параметров эксперимента, а о сопоставлении временной зависимости заданного теплового потока и реально воспроизводимого в эксперименте.
2. На стр. 33 диссертации отмечается, что "выбор геометрических параметров исследуемого образца материала занимает одно из ключевых мест на этапе планирования и подготовки экспериментального исследования". В связи с этим для рассматриваемого материала принята рекомендация о выборе его толщины равной 0,1 по отношению к другим линейным размерам. Это достаточно известный результат, но было бы хорошо сослаться на соответствующий литературный источник.
3. В работе, к сожалению, мало внимания уделено оценке роли контактных сопротивлений в зоне установки термопар, определению их влияния на методическую погрешность измерения температур. Для высокопористых материалов этот вопрос особенно актуален, поскольку контакт материала с датчиком, как правило, далёк от идеального и зависит от многих причин.
4. При исследовании погрешностей измерения температуры из нескольких способов заделки термопар в пористый материал, используемых в настоящее время, рассмотрен лишь один, применяемый, в основном, в экспериментах при исследовании теплофизических свойств материалов.

Высказанные замечания по диссертационной работе не снижают её общей высокой оценки.

Диссертация написана хорошим литературным языком, а её автореферат достаточно полно отражает основные результаты работы.

### Заключение

Диссертация Моржухиной А.В. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором самостоятельно и на высоком научном уровне. В диссертационной работе отсутствуют заимствованные материалы без ссылок на автора или источник заимствования; результаты совместных работ, выполненных в соавторстве, подтверждаются ссылками на авторов.

Рассмотренная диссертационная работа отвечает всем критериям "Положения о порядке присуждения учёных степеней", а её автор Моржухина Алёна Вячеславовна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.14 – "Теплофизика и теоретическая теплотехника" (технические науки) и 05.07.03 – "Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов".

Доктор технических наук,  
профессор кафедры  
"Космические аппараты и ракеты-носители"  
Московского государственного технического  
Университета им. Н.Э. Баумана,  
Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел.8-499-243-23-29.  
Эл. адрес: v.n.eliseev@gmail.com

  
В.Н. Елисеев

Подпись В.Н. Елисеева заверяю  
Начальник Управления кадров  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

  
  
В.А. Барышников