



«УТВЕРЖАЮ»

ВРИО директора ИПТМУ РАН

Костерев А.А.

» 04 2021г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Борщева Никиты Олеговича на тему «Методы исследования тепловой модели многоразового элемента конструкции спускаемого космического аппарата с учетом свойства анизотропии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Актуальность темы и цель диссертационной работы. При проектировании теплоограждающих композиционных конструкций одной из первостепенных проблем является определение их проектных теплофизических характеристик в обеспечении прогнозируемого теплового режима изделия. В диссертации рассматривается комплексный подход к определению теплофизических характеристик твердых материалов для уточнения физико-математических моделей расчета теплонагруженных конструкций ракетно-космической техники на примере шпангоута активного стыковочного агрегата на разных этапах его эксплуатации.

Основной целью диссертационной работы является разработка и обоснование методики по определению компонентов тензора теплопроводности анизотропного материала шпангоута стыковочного агрегата спускаемого аппарата по данным теплофизического эксперимента.

В диссертационном исследовании рассматривается последовательный алгоритм определения вектора теплопроводности материала в анизотропной постановке исследуемой задачи на основе минимизации среднеквадратичной интегральной ошибки между теоретическим и экспериментальным массивом температур с использованием известных методов регуляризации.

Учитывая сказанное выше, следует признать выбранную тему

диссертационного исследования актуальной, научно и практически важной.

Научная новизна. В работе разработан новый подход к последовательной параметрической идентификации вектора теплопроводности анизотропных твердых материалов двумя методами регуляризации: методом регуляризации А.Н. Тихонова и методом итерационной регуляризации.

Достоверность проведенного диссертационного исследования и полученных результатов подтверждается строгой постановкой задачи, соответствующей условиям теплового нагружения, оценкой сходимости полученных результатов и относительных погрешностей полученных значений.

По **структуре** рецензируемая диссертация состоит из введения, 5-и глав, заключения, списка литературы, состоящего из 98 ссылок, и изложена на 154 странице.

Во введении формулируются цели и задачи диссертационной работы, кратко рассмотрено основное содержание глав, указаны результаты, выносимые на защиту.

Первая глава содержит основополагающие определения «прямой» и «обратной» задач теплопроводности, а также приведены основные численные методы решения «прямых» задач теплопроводности, такие как метод тепловых балансов или изотермических узлов, а также метод конечных элементов. Приведены основные виды обратных задач теплообмена и указано их отличие от прямых. Описан выбранный объект исследования, представляющий собой шпангоут активного стыковочного агрегата (АСА) перспективного транспортного корабля «Орел».

Вторая глава содержит методику идентификации симметричного тензора теплопроводности по данным замеров температур на основе минимизации целевого функционала невязки между теоретическим и экспериментальным полем температур.

Отличительной особенностью является получение аналитических зависимостей компонент градиентов целевого функционала на основе решения вариационной задачи методом неопределённых множителей Лагранжа, который используется в выбранном методе оптимизации. В качестве метода оптимизации выбран метод сопряжённых направлений, как наиболее точный метод первого

порядка сходимости.

Третья глава посвящена модернизации численного метода для реализации параметрической идентификации математической модели теплопереноса тепловых потоков в анизотропных твердых телах, позволяющего вычислить компоненты тензора теплопроводности. Одним из наиболее универсальных методов численного решения краевых задач в двумерной постановке для анизотропных твердых тел является метод переменных направлений, модернизированный путем создания нового шаблона для реализации постановки задачи.

Данный метод является явно-неявным, таким образом, для достижения требуемой сходимости необходимо выбрать достаточно малый шаг интегрирования вдоль направлений. Теплофизические характеристики в данном методе ищутся на основе априорной информации, взятой с предыдущих временных слоев.

Четвертая глава отражает полученные результаты решения граничной обратной задачи радиационного теплопереноса для выбора проектных параметров экспериментального стенда по моделированию аэродинамического теплового нагрева шпангоута (условия эксплуатации объекта испытаний) лучистым тепловым диффузным потоком с помощью ИК-имитаторов.

В качестве исходных данных для решения граничной обратной задачи радиационного теплопереноса использовано распределение аэродинамических потоков, полученных моделированием прохождения спускаемого аппарата через плотные слои атмосферы.

Решение поставленной задачи осуществляется стохастическим методом Монте-Карло на основе которого получена пространственно-временная модель распределения лучистой тепловой нагрузки по конструкции и было выбрано 11 ИК-имитаторов, моделирующих ее.

В **пятой главе** выполнен анализ свойств предложенного вычислительного алгоритма. Приведены результаты моделирования температурного режима конструкции на примере элемента металлического шпангоута АСА для двух расчетных методов регуляризации среднеквадратичной ошибки. Показана итерационная сходимость теоретического поля температур к экспериментальному, также это подтверждается полученными данными по абсолютному значению

нерегуляризируемой невязки в зависимости от номера итерации. Представлены полученные теплофизические характеристики, как функции от температуры.

Результаты, полученные в диссертационном исследовании, обобщены и представлены **в заключении**. Кроме того, основные результаты по каждому разделу работы, кратко изложены в конце соответствующего раздела.

Диссертация и ее автореферат изложены хорошим научно-техническим языком. Автореферат диссертации отражает основное содержание диссертационного исследования и его результаты.

Значимость для науки результатов исследований заключается в том, что выводы работы позволяют решать прикладные задачи в области прочности и тепловых режимов летательных аппаратов. Результаты работы могут найти свое применение при чтении специальных дисциплин для бакалавров и магистров в СГТУ, МГТУ имени Н.Э.Баумана, Ульяновском государственном техническом университете, Московский авиационный институт, КГТУ имени А.Н. Туполева (КАИ), Санкт-Петербургском государственном университете, МГУ, Санкт-Петербургском государственном политехническом университете, Казанском государственном технологическом университете и для научных разработок в ИПТМУ РАН, Институте проблем механики РАН, ВВИА имени Н.Е. Жуковского.

Замечания по диссертации и автореферату.

1. Не приведена траектория спуска аппарата, по которой было получено распределение аэродинамической нагрузки.
2. Не приведено обоснование использования выбранных методов регуляризации.

Заключение. Рассмотренная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, в которой решена новая актуальная научно-техническая комплексная задача в области прочности и тепловых режимов летательных аппаратов. Новизна полученных результатов, их достоверность и практическое значение сомнений не вызывает. В 7 научных публикациях автора достаточно подробно изложено содержание диссертационного исследования. Среди опубликованных работ: 3 в издании, рекомендуемом ВАК, переводная версия которого индексируется в Scopus. Работа

соответствует паспорту специальности 05.07.03 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» и удовлетворяет пунктам 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Борщев Н. О. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03– «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Настоящий отзыв рассмотрен и утвержден 26 апреля 2021 года на заседании лаборатории анализа и синтеза динамических систем в прецизионной механике Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук (протокол №4, 26.04.2021).

Отзыв составили:

Заведующий лаборатории анализа и
синтеза динамических систем в прецизионной
механике ИПТМУ РАН,
д.ф.-м.н.



Барулина М.А.

главный научный сотрудник лаборатории анализа и
синтеза динамических систем в прецизионной
механике ИПТМУ РАН
д.ф.-м.н., доцент,



Кондратов Д.В.

Контактные данные организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук

410028, Российская Федерация, Саратов, ул. Рабочая, 24

Телефон: (8452) 22-23-76, E-mail: iptmuran@san.ru

Официальный сайт: www.iptmuran.ru