

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Нестерова Сергея Анатольевича
«Прямые и обратные задачи термомеханики для неоднородных тел»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 1.1.8 – механика деформируемого
твердого тела

В настоящее время в изделиях с высокотемпературным окружением широко используются как слоистые композиты, так и функционально-градиентные материалы. При этом в функционально-градиентных материалах нет скачка термомеханических характеристик при переходе через внутренние границы раздела и, соответственно, не возникает концентрации напряжений. В силу сложности и многоэтапности создания функционально-градиентных и слоистых структур требуется контроль их характеристик в процессе и после изготовления. Один из подходов к решению данной проблемы состоит в разработке методов идентификации термомеханических характеристик в контролируемом образце на основе решения коэффициентных обратных задач по информации о физических полях на его поверхности.

Еще одной важной проблемой термомеханики является уточнение напряженно-деформированного состояния (НДС) в составных микроструктурных объектах. Его определение имеет важное практическое значение при расчете на прочность и потерю устойчивости устройств микроэлектроники и микромеханических систем. Однако применение уравнений классической механики для расчета НДС микрообъектов не позволяет учитывать масштабные эффекты, выявленные экспериментально. А модели деформирования слоистых структур на микроуровне с учетом связанности полей и масштабного эффекта в настоящее время недостаточно разработаны.

В связи с этим тема диссертационной работы «Прямые и обратные задачи термомеханики для неоднородных тел» представляется важной и актуальной.

Диссертация содержит введение, пять глав, заключение, приложение и список литературы.

Во введении приведен подробный обзор работ по прямым и обратным задачам термомеханики, функционально-градиентным материалам,

градиентной теории упругости, обосновывается актуальность темы, формулируются цели и задачи, дано краткое содержание диссертационного исследования.

В первой главе решаются динамические связанные задачи термоупругости для стержня, трубы, конечного цилиндра и прямоугольника, изготовленных из функционально-градиентных, а также исследуются динамические связанные задачи термоэлектроупругости для функционально-градиентного стержня и цилиндра. Представлена математическая постановка задач, предложены новые методы решения и проведена их верификация. Показано, что различные степенные законы неоднородности оказывают существенное влияние на граничные физические поля.

Во второй главе исследуются задачи градиентной теории упругости и термоупругости для составных тел и тел с покрытиями. На основе вариационного принципа получены математическая постановка задач градиентной механики для составного стержня, составной балки, полого цилиндра и полосы с покрытием. Далее решаются задачи градиентной теории электроупругости для составного стержня и сплошного цилиндра с покрытием. При малых значениях масштабного параметра на основе асимптотических подходов Вишика-Люстерника и ВКБ, позволяющих изучать погранслойные решения, получены приближенные аналитические формулы для нахождения смещений, моментных напряжений, напряжений Коши и полных напряжений. Проведено сравнение решений в классической и градиентной постановках.

Третья глава посвящена исследованию коэффициентной обратной задачи термоупругости, когда дополнительная информация известна на полубесконечном интервале. Получены операторные уравнения в трансформантах Лапласа и сформулирован общий итерационный подход к идентификации одномерных термомеханических характеристик. В качестве примера рассмотрены обратные задачи для стержня, трубы, конечного цилиндра и прямоугольника. Реализован итерационный процесс, предложен подход по нахождению начального приближения и его уточнения. Получены интегральные уравнения Фредгольма 1-го рода с гладкими ядрами для нахождения поправок и проведены вычислительные эксперименты по идентификации модельных законов неоднородности.

В четвертой главе исследуется коэффициентная обратная задача термоупругости для стержня, слоя, трубы, конечного цилиндра и прямоугольника, когда дополнительная информация измеряется на конечном временном интервале. Операторные уравнения в оригиналах получены путем обращения соответствующих операторных уравнений в трансформантах. Проведены вычислительные эксперименты по восстановлению как одной, так и двух характеристик неоднородных термоупругих тел. Рассмотрены две задачи термоупругости с разным типом граничной нагрузки. На каждом этапе итерационного процесса нахождения поправок решается система двух интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода с гладкими ядрами. При этом реконструкция двух характеристик конечного цилиндра и прямоугольника возможна только в два этапа, на каждом из которых восстанавливается только одна характеристика.

Пятая глава посвящена решению задачи об идентификации переменных характеристик термоэлектроупругих неоднородных тел, когда дополнительная информация измеряется на конечном временном отрезке. На основе слабой постановки прямой задачи получены общие операторные уравнения в трансформантах. В качестве примера решены обратные задачи термоэлектроупругости для функционально-градиентного стержня, поперечно неоднородного слоя и радиально-неоднородного цилиндра. Получен ряд новых уравнений для нахождения поправок модулей упругости, пьезомодулей и пирокoeffициента. Установлено, что пьезомодули, коэффициент температурных напряжений и пирокoeffициент восстанавливаются с большей погрешностью, чем другие термомеханические характеристики.

В заключении приводятся основные положения, выносимые на защиту.

Достоверность результатов обеспечивается использованием фундаментальных физико-механических принципов математической формулировки задач и применением апробированных аналитических и численных методов.

Содержание диссертации позволяет сделать вывод, что полученные автором результаты являются новыми и вносят крупный вклад в теорию коэффициентных обратных задач термомеханики. В диссертации решена важная научная проблема, имеющая не только большое теоретическое, но и

существенное практическое значение для идентификации характеристик функционально-градиентных материалов после изготовления.

К работе имеются следующие замечания:

1. Расчеты задач градиентной механики во второй главе приведены только для гипотетических материалов. Желательно было бы провести расчеты для конкретных материалов и геометрических размеров.
2. В диссертационной работе отсутствует сравнительный анализ преимуществ и недостатков разработанного подхода по сравнению с известными.
3. В работе исследованы одномерные коэффициентные обратные задачи термомеханики. Не обсуждается, можно ли предложенный подход распространить на случай зависимости термомеханических характеристик от двух переменных.
4. На практике дополнительную информацию можно измерить только на конечном интервале, а в рамках разработанного в диссертации метода решения обратной задачи предполагается, что она известна на всей бесконечной границе. Следует проанализировать, какая погрешность вносится такой заменой бесконечного интервала конечным.
5. В вычислительных экспериментах следовало бы уделить больше внимания различным способам зашумления входной информации и оценке его влияния.

Указанные замечания во многом носят характер пожеланий для дальнейших исследований, не влияя существенным образом на общую положительную оценку диссертационной работы.

Автореферат правильно отражает ее содержание. Результаты исследования прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях, изложены в двух изданиях монографии и статьях, опубликованных в коллективной монографии и рецензируемых отечественных и зарубежных журналах.

Представленная диссертационная работа «Прямые и обратные задачи термомеханики для неоднородных тел» является законченным научным трудом, выполненном на высоком профессиональном уровне и полностью удовлетворяет всем основным требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный

университет», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Нестеров Сергей Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела.

« 7 » октября 2023 г.

Согласен на обработку моих персональных данных

Глушков Евгений Викторович,
доктор физико-математических наук,
(специальность 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела),
профессор, главный научный сотрудник
Института математики, механики и информатики
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»,
350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д. 149,
тел.: +7 (861) 219-95-02,
e-mail: evg@math.kubsu.ru

