

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Земскова Андрея Владимировича «Нестационарные механо-диффузионные возмущения в многокомпонентных упругих средах с плоскими границами», представленную к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Диссертационная работа Земскова А.В. посвящена разработке подходов к решению нестационарных задач теории упругости, связанной с диффузией, на основе классических аналитических методов. Задачи термоупругой диффузии встречаются во многих областях техники и жизнедеятельности человека. Их решение имеет большое **практическое значение** для обеспечения надежной работы конструкций их отдельных элементов, работающих в условиях нестационарных воздействий различной физической природы; при установлении закономерностей формирования свойств новых материалов в материаловедении, химии твердого тела; при изучении задач в геофизике и минералогии и др. Тема диссертации является **актуальной**, что подтверждается большим научным интересом к данной проблеме как в России, так и за рубежом. Об этом свидетельствует огромное число публикаций в журналах разной направленности. Актуальность связана еще и с тем, что для разработки алгоритмов численного решения нелинейных связанных задач упругой диффузии и термоупругой диффузии и тестирования компьютерных программ требуются подходящие аналитические решения. Сложность разработки алгоритмов, связанная с разномасштабностью процессов разной физической природы, окупается при наличии подходящих тестов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемых источников. Во введении обсуждается состояние проблемы, приведено краткое содержание диссертации по главам. Обоснована актуальность, практическая значимость и научная новизна данного исследования.

В первой главе представлен подробный обзор литературы, относящейся к теме диссертации. Здесь же на основе классических подходов развита математическая модель термоэлектромагнитоупругости с учетом диффузии для

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. №

12 10 20 18

многокомпонентных анизотропных сред в произвольной криволинейной системе координат. Сформулированы одномерные, двумерные и трехмерные начально-краевые задачи упругой диффузии в декартовой системе координат. Дана классификация указанных задач по типам граничных условий. В целом, первая глава носит постановочный характер. Решение и анализ сформулированных здесь задач последовательно осуществляется в последующих главах диссертационной работы.

Во второй главе исследуются одномерные нестационарные модели упругой диффузии, для слоя, полупространства и пространства. В соответствии с классификацией начально-краевых задач, приведенной в первой главе, предложены алгоритмы построения объемных и поверхностных функций Грина для одномерных задач механодиффузии. Исследуются задачи, для которых оказываются возможными аналитические решения соответствующих задач Штурма-Лиувилля. С использованием найденных собственных функций одномерного упругодиффузионного оператора автор ищет функции Грина для одномерных задач в виде неполных тригонометрических рядов Фурье (синус-, косинус преобразований Фурье) в сочетании с применением интегрального преобразования Лапласа по времени. Это позволяет свести начально-краевую задачу к системе линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов указанных рядов в пространстве преобразования Лапласа. Полученные таким образом трансформанты функций Грина являются рациональными функциями параметра преобразования Лапласа, что позволяет найти их оригиналы с помощью теорем о вычетах и таблиц операционного исчисления. Такой подход представляется вполне корректным и имеет хорошо обоснованные аналоги (например, совместное использование операционного метода и вариационных методов в пространстве изображений - Цой, П. В. Методы расчета отдельных задач тепломассопереноса / М. : Энергия, 1971 . – 384 с.)

В конце главы приведены примеры расчетов. Выполнена проверка полученных решений путем сравнения с решениями классических задач теории упругости.

В третьей главе анализируются двумерные нестационарные задачи механодиффузии для ортотропных сред. Выделяются задачи для слоя,

полупространства и пространства. По своей структуре эта глава подобна предыдущей. Предлагаются алгоритмы построения объемных и поверхностных функций Грина для тех задач, где возможно построение решений с помощью разложений в неполные ряды Фурье.

В конце главы приводится ряд расчетных примеров.

Четвертая глава посвящена исследованию одномерных и двумерных задач упругой диффузии, решение которых невозможно получить с помощью разложений по собственным функциям (ряды, интегральные преобразования). Задача сводится к решению системы интегральных уравнений Вольтерра 1-го рода относительно правых частей граничных условий различных типов. Ядрами интегральных операторов являются функции Грина, полученные в главах 2 и 3. Полученная система решается численно с помощью квадратурных формул. Особенности алгоритма демонстрируются на примере одномерной и двумерной задач с нулевыми начальными условиями. Представленные рисунки демонстрируют особенность в поведении частичных сумм ряда Фурье в окрестности точек разрыва. Осуществлены предельные переходы к решениям известных задач теории упругости.

Пятая глава посвящена асимптотическим решениям нестационарных задач механодиффузии. В первой её части изучается асимптотическое поведение решений при больших временах и при переходе к статическим условиям для одномерных задач из главы 2. Далее предлагается алгоритм асимптотического разделения переменных, позволяющий в случае слабой неравномерности поверхностных возмущений свести многомерную начально-краевую задачу к рекуррентной последовательности одномерных задач. Методика продемонстрирована на примере решения двумерных и трехмерных задач. Выполнено сравнение с результатами, полученными в главе 3.

В заключении приведены основные выводы работе.

Научная новизна. С точки зрения построения аналитических решений, все рассмотренные в работе задачи для ортотропных многокомпонентных сред являются новыми.

Достоверность полученных результатов обоснована строгостью математических формулировок задач, использованием известных методов решения начально-краевых задач и строго доказанных утверждений.

По диссертации имеются следующие **вопросы и замечания**:

1. Аналитические решения, получаемые автором, весьма громоздки и требуют привлечения численных методов, например, для вычисления интегралов и суммирования рядов. Это связано с не меньшим накоплением вычислительных ошибок, чем это имеет место при использовании критикуемых автором разностных методов. Сам по себе апробированный метод не может быть подтверждением точности и корректности результата. Как убедиться, что все решения верны?
2. Не ясна связь раздела 1.2 с последующими разделами диссертации. Зачем автор представил модель термоэлектромагнитоупругой среды с диффузией, если далее он изучает лишь механодиффузионные задачи для изотермических условий без действия электрических и магнитных полей? Более того, именно раздел 1.2 содержит неточности в изложении. Во-первых, уравнение движения сплошной среды имеет иной вид, чем уравнение (1.1). В нем потеряны конвективные слагаемые. Представленное автором уравнение имеет место лишь для упругой среды с малыми перемещениями. Во-вторых, не ясно, на положениях какой из термодинамических школ основывается автор при записи термодинамических соотношений? В работе имеются ссылки на разные термодинамические подходы, в том числе, развитые в работах Трусделла и его школы, Пригожинской термодинамики и допригожинской термодинамики. В настоящее время развитие получили расширенная термодинамика, квантовая термодинамика, неаддитивная термодинамика. Можно ли для общения теории использовать иные подходы? В-третьих, в уравнении для потока массы под знаком градиента в общем случае должен стоять не просто химический потенциал, а химический потенциал, деленный на температуру. Забывая в (1.3) термодиффузию и диффузионную теплопроводность, автор далее не сможет установить, какие из появившихся в итоговых уравнениях коэффициенты являются основными (первичными), а какие – производными от них. Хотя такая задача в работе и не стояла. В-четвертых, уравнение (1.9) в физической литературе трактуется как разложение свободной

энергии в ряд Тейлора по малым отклонениям переменных состояния от равновесного значения (например, Ландау Л.Д.). Автор, однако, нигде не упоминает, что его модель работает только в этих приближениях. И наконец, каким бы образом Вы ни выводили уравнения диффузии и теплопереноса (при использовании обобщенных законов Фурье и Фика с конечными временами релаксации), в них должны присутствовать производные по времени от источников тепла и массы. На эту ошибку у разных авторов неоднократно указывал Соболев С.Л. (см., например, *УФН* **161** (3) 5–29 (1991); **167** (10) 1095-1106).

3. В n -компонентной системе независимы всего $n-1$ компоненты, и сумма всех диффузионных потоков равна нулю. Автор нигде это не упоминает и не использует. О диффузии чего и в чем идет речь в частных задачах для однокомпонентных сред? С чем связаны градиенты концентраций в чистом веществе? Не изменяется ли при этом плотность?

4. Не ясно, с чем связан выбор частных задач. Для механики, в том числе теории упругости и термоупругости, смысл имеют задачи об одноосном нагружении, одноосной деформации, плоского напряженного состояния, плоской деформации и др. В диссертации же анализируются одномерные, двумерные и трехмерные задачи без привязки к реальным условиям нагружения. Такая классификация весьма сомнительна. Например, в одномерных задачах могут быть отличны от нуля несколько компонент тензоров напряжений и деформаций (автор оставляет только по одной). Условием для двумерности может быть не только наличие плоскости симметрии, но и малость одного из размеров нагружаемого тела и т.п.

5. Поясните физическую суть задачи из раздела 3.5. Что нагружается? Что и куда диффундирует? Следует дать хоть какую-то интерпретацию рисункам на стр. 138-144.

6. В работе имеются опечатки. Например

- в формулах (2.85) и (2.87) пропущены множители $\cos \lambda_n \xi$ и $\sin \lambda_n \xi$. Их наличие следует непосредственно из равенств (2.79) и (2.83).

- имеется ряд синтаксических и стилистических ошибок. Следует писать «диффузия компонентов», а не компонент. Но компоненты тензора напряжений... Отсутствует

множество запятых, там где они нужны, и много лишних, где они не требуются (по всей работе).

Тем не менее, указанные замечания не снижают научной ценности представленной научной работы. Диссертационная работа соответствует всем критериям положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. В работе разработаны теоретические положения и получены теоретические результаты, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области построения аналитических решений связанных начально-краевых задач механики деформируемого твердого тела.

В целом, диссертация Земскова А.В. выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к докторским диссертациям.

Основные результаты диссертации опубликованы в 43-х работах, 14 из которых – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Земсков А.В. заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – "Механика деформируемого твердого тела".

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор отделения материаловедения Инженерной школы новых
производственных технологий Томского политехнического университета


Князева А.Г.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, Томский политехнический университет
Телефон: +7-3822-286-831
E-mail: anna-knyazeva@mail.ru

Подпись Князевой Анны Георгиевны удостоверяю,
Ученый секретарь ТПУ




Ананьева О.А.