

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Ле Ван Хао «Моделирование нестационарных термоупругодиффузионных колебаний балки Бернулли-Эйлера», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела»

1. Актуальность темы диссертации.

Изучение нестационарных процессов с использованием связанных уравнений упругости, теплопроводности и диффузии является актуальной научной задачей, что подтверждается большим количеством современных публикаций в этой области как российских, так и зарубежных ученых. Акцент в работе сделан на получении аналитических и численно-аналитических решений для шарнирно опертых и консольно закреплённых балок, а также балок на упругом основании, находящихся под действием механических нагрузок и термодиффузионных возмущений.

2. Структура и оформление диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 121 наименования и содержит 112 страниц текста, включая 42 рисунка. По структуре и оформлению диссертация и автореферат диссертации соответствуют установленным требованиям.

Во введении раскрыты все основные составляющие диссертации (содержание по главам, цель, актуальность, методы, научная новизна, практическая значимость, достоверность, основные положения, выносимые на защиту, апробация работы и публикации).

Современное состояние исследований по теме диссертации проанализировано в разделе 1.1, где констатировано отсутствие замкнутых решений нестационарных задач связанной термомеханодиффузии для балок Бернулли-Эйлера, имеющих широкие практические приложения. В разделе 1.4 сформулированы уравнения нестационарных колебаний балки Бернулли-Эйлера, учитывающие конечные времена релаксации тепловых и диффузионных потоков компонент, которые получены автором из уравнений термомеханодиффузии для сплошных сред (разделы 1.2 и 1.3) с помощью обобщенного принципа виртуальных перемещений, на основе балочной теории Бернулли-Эйлера. В разделе 1.5 эти уравнения приведены к

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«13» 10 2025 г.

безразмерному виду. В разделе 1.6 дано общее описание метода решения начально-краевых задач для шарнирно опертых балок и балок на упругом основании, а также для консольно закрепленных балок.

В разделе 2.1 даётся физическая и математическая постановка задачи об изгибе шарнирно опертой балки Бернулли-Эйлера, к которой приложены сосредоточенные и распределенные нагрузки термомеханодиффузионной природы. В последующих разделах 2.2 и 2.3 последовательно описывается алгоритм решения поставленных задач, который основан на методе функций Грина. Сами функции Грина находятся аналитически с помощью интегрального преобразования Лапласа и рядов Фурье. Раздел 2.4 посвящен исследованию предельных переходов к моделям с бесконечными скоростями распространения тепловых и диффузионных возмущений, к классическим задачам упругости и к статическим моделям. В разделе 2.5. приведен ряд расчетных примеров, где исследуется поведение балки при различных видах нестационарных внешних воздействий: механических, температурных и диффузионных. На основании полученных решений анализируются эффекты взаимодействия механического, температурного и диффузионного полей в изгибаемых балках, которые изложены в разделе 2.6.

Глава 3 по своей сути схожа с главой 2. Здесь рассматриваются термомеханодиффузионные колебания балки Бернулли-Эйлера на упругом основании Винклера. Схема исследования аналогична изложенной в пп. 2.1-2.6.

В главе 4 рассматривается задача об изгибе консольно закрепленной балки Бернулли-Эйлера находящейся под действием приложенной к свободному концу или распределенной по длине балки поперечной силы. Так же, как и в предыдущих задачах, механическая нагрузка инициирует нагрев и массоперенос, что описывается уравнениями, приведёнными в разделе 4.1. Для решения поставленной задачи используется метод эквивалентных граничных условий, основанный на сведении сформулированной начально-краевой задачи к решению вспомогательной задачи, имеющей ортогональный базис собственных функций, постановка и решение которой на основе преобразования Лапласа и рядов Фурье дана в разделе 4.2. Раздел 4.3 посвящен решению непосредственно задачи об изгибе консольно закреплённой балки. Здесь строится система интегральных уравнений, связывающая правые части

граничных условий обеих задач. Эта система решается численно, после чего решение исходной задачи представляется в виде сверток функций Грина вспомогательной задачи с функциями, полученными при решении указанной системы интегральных уравнений.

Далее, исследуются предельные переходы к моделям с бесконечными скоростями распространения тепловых и диффузионных возмущений, к классическим задачам упругости и к статическим моделям (раздел 4.4), приводится ряд расчетных примеров, демонстрирующих взаимодействие механических, температурных и диффузионных полей (раздел 4.5). В конце главы приводится анализ полученных решений (раздел 4.6).

В заключении приведены общие выводы по работе.

3. Теоретические результаты диссертации и их научная новизна.

Результаты работы и их научная новизна достаточно подробно описаны во вводной части диссертационной работы и заключаются в постановке и разработке численно-аналитических методов решений нового класса нестационарных задач термоупругодиффузионных колебаний балки Бернулли-Эйлера при различных сочетаниях внешних нагрузок и способов закрепления балки.

4. Практическая значимость результатов диссертации.

Полученные аналитические решения нестационарных линейных краевых задач могут быть использованы при исследовании эффектов связанности термомеханодиффузии в элементах конструкций при определенных видах процессов нагружения и тепломассопереноса, при оценке прочности материалов за счет учета влияния теплового и диффузионного движения частиц в твердом теле на процессы деформирования.

5. Достоверность результатов диссертации. Для решения нестационарных линейных начально-краевых задач для связанных уравнений термомеханодиффузии в изгибаемых балках использованы апробированные вычислительные методы. Предельными переходами установлено соответствие полученных решений исследованным ранее частным случаям уравнений без учета релаксации тепловых и диффузионных потоков. Также для сравнения использованы решения несвязанных и статических задач. Все необходимые аналитические преобразования выполнены с применением компьютерной алгебры, благодаря чему минимизирована вероятность возможных ошибок.

6. Апробация работы. Результаты диссертационная работа Ле Ван Хао в достаточной мере опубликованы и апробированы. Основные положения работы опубликованы в пяти рецензируемых научных журналах, четыре из которых входят в журналы, реферируемые международными базами цитирования Scopus и Web of Science. Три статьи опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов по группе специальностей, включающей механику деформируемого твердого тела, по физико-математическим наукам. Работа докладывалась на 12-ти международных и всероссийских конференций по профилю механики и математического моделирования.

Аннотация в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

7. Вопросы и замечания по содержанию работы.

1. По мнению оппонента при формулировке общей постановки задачи термо-упруго-диффузии (1.1) следовало бы оговорить более четко ограничения практической применимости данной теории, которую в настоящее время целесообразно рассматривать скорее как математическую модель, необязательно связанную с описанием реальных механо-диффузионных процессов в твердых телах. Такое пояснение позволило бы избежать определенных проблем, которые присущи общей теории конечных скоростей распространения тепла и диффузии, например, неочевидная согласованность с термодинамическим принципом Онзагера.

Введение в модель распространения тепла и диффузии производных по времени более высокого порядка, чем первый, с этой точки зрения весьма ограничительно, поскольку тип уравнений относительно температуры и концентрации в этом случае становится уже неопределенным, он может стать снова параболическим. Исследование таких сложных эффектов в реальных материалах в настоящее время затруднено.

2. Исследование в рамках единого алгоритма системы уравнений уравнений энергии и массопереноса с различным порядком производных по времени возможно лишь при достаточно сильных ограничениях, которые следовало бы более четко оговорить: если рассматриваются производные первого порядка, то это сравнительно медленные (относительно скорости распространения упругих волн) процессы по отношению к реальным

материалам. Если же рассматриваются вторые производные по времени, то это, как правило, быстрые процессы, для их моделирования применяются особые методы. Для моделирования процессов, описываемых производными по времени еще более высокого порядка применяются третьи методы. Единые методы решения задач для общего случая возможны лишь для специального типа процессов, которые следовало бы оговорить.

3. Вариационное уравнение (1.7) записано в едином виде для всех трех групп уравнений: движения, энергии и массопереноса. При таком подходе возникает вопрос о согласовании размерностей, объединение этих уравнений возможно лишь при проведении предварительного обезразмеривания соответствующим образом, о чем следовало бы сказать явным образом.

4. В реальных материалах процессы диффузии (массопереноса) и переноса тепла являются очень медленными по сравнению со скоростью распространения упругих волн, именно поэтому в разделе 2 получены вполне логичные результаты о том, что вклад эффектов связанности упругих и тепловых и диффузионных полей в общее решение задачи мал.

Этот эффект можно было бы сразу учесть в постановке задачи, что облегчило бы ее решение.

Следует отметить, что тем не менее существуют реальные быстро протекающие высокоинтенсивные процессы, например ударные волны сильного сжатия в металлах, в которых тепловые и диффузионные эффекты могут протекать со скоростями близкими к скорости упругих волн. Скорее всего именно для такого класса задач развиваемая в диссертации теория имеет наибольшую практическую направленность. Это также можно было бы отметить автору в диссертации.

5. В главах 2-4 не хватает систематичности исследования особенностей протекания нестационарных процессов на различных пространственных и временных масштабах. Было бы целесообразно изучить поведение решений в ответ на различные виды внешних нагружений фиксированной мощности, но с различными значениями амплитуды и длительности, на различных масштабах координаты. Следовало бы также повaryировать размерами балки, так как масштабный фактор может оказать существенное влияние эффекты связанности полей.

Тем не менее, высказанные замечания не ставят под сомнение результаты диссертации, выносимые на защиту и могут рассматриваться как пожелание для дальнейших исследований.

8. Заключение по диссертации.

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертационная работа Ле Ван Хао на тему «Моделирование нестационарных термоупругодиффузионных колебаний балки Бернулли-Эйлера», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является завершённым научным исследованием, выполненным на высоком научно-методическом уровне, соответствует специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела» и имеет важное научное и практическое значение для изучения закономерностей протекания термодиффузионных процессов в упругом теле в широком диапазоне изменения характерных времен и масштабов. Рецензируемая диссертационная работа отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.03.2013 года (в редакции от 28.08.2017 года), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Вычислительная математика и математическая физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктор физико-математических наук, профессор

 Димитриенко Юрий Иванович

«09» 10 2025 года

Служебный телефон: +7(499)-263-60-18, E-mail: dimit@bmstu.ru

Служебный адрес: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Подпись Димитриенко Юрия Ивановича удостоверяю:

С отзывом ознакомлен

13.10.2025

Ле Ван Хао

