

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу «Исследование колебательных и волновых процессов в термоупругой среде с учетом времени релаксации теплового потока» ВИТОХИНА Евгения Юрьевича, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04-механика деформируемого твердого тела

Изучению вопросов распространения тепла в средах с конечным временем релаксации тепловых потоков в настоящее время уделяется серьезное внимание. Интерес к вопросам подобного рода связан с необходимостью изучения и использования в современных технических устройствах все более быстрых процессов, приводящих к значительному выделению тепловой энергии в малых объемах среды. Описание подобных процессов требует принципиальных изменений законов распространения тепла и в первую очередь замены классического закона Фурье, неспособного описывать распространение быстрых тепловых потоков. В связи с этим предлагаются новые формы обобщенного закона Фурье, требующие как теоретического, так и экспериментального изучения. Таким образом, тема диссертационной работы Е.Ю. Витохина, посвященной теоретическому изучению особенностей динамических теплофизических и термоупругих процессов с использованием обобщенных форм закона теплопроводности, безусловно, является актуальной.

Научная новизна полученных Е.Ю. Витохиным теоретических результатов состоит в том, что в диссертации впервые проведен детальный анализ высоты пиков на профилях температуры для случаев классической и гиперболической термоупругости. Впервые удалось установить, что наиболее сильные различия между результатами классической и гиперболической термоупругости возникают в задаче с закрепленными границами и постоянной температурой. На основании проведенных численных расчетов показано, что наиболее существенная разница между перемещениями в классической и гиперболической термоупругости имеет место в промежутках между акустическим и тепловым фронтом. Впервые выполнен асимптотический анализ дисперсионных соотношений для модели термоупругости Лорда-Шульмана, в результате которого установлено существование волнового числа отсечки. Показана возможность использования волнового числа отсечки для экспериментального определения времени релаксации теплового потока в среде.

Изучение процессов генерации тепловых и акустических волн нестационарным лазерным излучением, а также их последующего распространения, на протяжении

многих лет привлекает серьезное внимание ученых из различных областей. Интерес к данному кругу вопросов связан с тем, что с помощью современной лазерной техники удается получать фундаментальную информацию о процессах и объектах недостижимую с помощью других средств. К таким процессам, в частности, относятся быстро протекающие процессы, в которых явления релаксации тепловых потоков начинают играть принципиальную роль. В настоящее время активно ведется разработка теоретической базы, позволяющей анализировать и выяснять особенности протекания процессов подобного рода. В связи с этим диссертация Е.Ю. Витохина имеет важное **фундаментально-научное значение**, так как в ней проведено систематическое теоретическое рассмотрение процессов генерации тепловых и термоупругих волн в средах с учетом времени релаксации тепловых потоков.

Практическая значимость диссертации заключается в возможности использования ее результатов для определения теплофизических и темоупругих параметров, характеризующих быстро протекающие тепловые процессы в различных средах.

Обоснованность и достоверность теоретических результатов диссертации основывается на использовании общепринятых в механике и физике теоретических моделей. Основные результаты в области дисперсионных соотношений получены асимптотическими методами. Анализ процессов теплопроводности и термоупругости с учетом времени релаксации в основном проводился численными методами с использованием программного языка Delphi. Корректность выполнения теоретического анализа, в значительной степени подтверждается совпадением полученных теоретических результатов с уже известными к настоящему времени результатами, соответствующими различным моделям и предельным случаям. Так, диссидентом последовательно производится анализ трансформации полученных результатов при увеличении времени релаксации теплового потока к результатам классических моделей теплопроводности и термоупругости.

Диссертационная работа выполнена на высоком теоретическом уровне. Диссертация состоит из введения, трех глав, посвященных изложению оригинальных результатов, заключения кратко подводящего итоги диссертации и списка литературы. Список библиографии состоит из 82 ссылок на публикации по теме диссертации. Диссертация изложена на 114 страницах, в том числе содержит 72 рисунка, 8 таблиц, уже упомянутую библиографию.

Основные результаты диссертации соискателя изложены в 3 печатных работах в журналах, рекомендованных ВАК.

В Главе 1 сформулированы основные положения, необходимые для постановки нестационарных задач теплопроводности и термоупругости в рамках модели Лорда-Шульмана, приводящей к уравнению теплопроводности гиперболического типа. В ней рассмотрены волновые процессы теплопроводности и термоупругости с учетом времени релаксации, возникающие воздействии лазерного излучения на границе среды с интенсивностью, затухающей вглубь образца по закону Бугера, и с временной зависимостью в виде δ -функции Дирака. Показано, что при определенном соотношении коэффициента затухания лазерного импульса и постоянной релаксации теплового потока вблизи облучаемой поверхности может возникать участок охлаждения. С использованием численных расчетов метода конечных разностей показано, что при типичных для лазерных экспериментов с металлами времен релаксации разница в температурах в гиперболической и классической термоупругости может составлять несколько десятых градуса.

В Главе 2 выполнен анализ влияния краевых условий на поведение температуры и напряженно-деформированного состояния слоя материала при его описании в рамках гиперболической и классической термоупругости. На основании численных расчетов выяснено, что наибольшие отличия между решениями гиперболической и классической термоупругости возникают в задаче с закрепленными границами. Наименьшие расхождения имеют место в задаче со свободными границами и теплоизоляцией. При этом наибольшая разница между деформациями, определяемыми из гиперболической и классической термоупругости, наблюдается на квазitemпературном слое. Полученные результаты описывают особенности процессов перекачки энергии между механическими и тепловыми степенями свободы. Обнаружено, что на начальном этапе развития процесса наблюдается рост квазиакустических деформаций благодаря перекачки энергии тепловых колебаний в механические. На последующих стадиях начинает преобладать обратный процесс и происходит затухания этих деформаций по термоупругому механизму. Вместе с тем в главе 2 показано, что численные расчеты температуры могут приводить к появлению артефактов. Они заключаются в появлении у температуры осцилляций по глубине образца, которые отсутствуют у аналитических решений. Диссертантом указано, что подобные артефакты могут появляться только в задачах с постоянной температурой образца на границах.

В Главе 3 рассмотрены дисперсионные соотношения для уравнения теплопроводности и термоупругости с учетом времени релаксации в модели Лорда-Шульмана. Получены выражения для фазовых и групповых скоростей для тепловой и

акустической ветвей и определены их асимптотические значения. Выполнен анализ зависимости волнового числа от частоты, показавший существование волнового числа отсечки. Предложен экспериментальный способ определения времени релаксации теплового потока, основанный на создании в начальный момент времени в слое распределения температуры по гармоническому закону и наблюдении ее последующей трансформации к равновесному значению. Показано, что регистрация затухающего с колебаниями поведения температуры позволяет установить время релаксации.

По представленной диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. В диссертации большинство приведенных графиков носит качественный иллюстративный характер. Исключение составляет медь, для которой проведены некоторые конкретные оценки. Было бы желательно на основании разработанных теоретических моделей выполнить подобные расчеты и для некоторых других материалов, характеризующихся разными значениями теплофизических и термомеханических параметров.
2. В диссертации отсутствуют ссылки на цикл работ российского ученого И.А. Новикова по гиперболической теплопроводности, в частности на работу, опубликованную в одном из ведущих зарубежных журналов (I.A. Novikov. Harmonic thermal waves in materials with thermal memory. Journal of Applied Physics, vol.81, pp.1067 – 1072, 1997). Приводится ссылка на книгу А.Г. Шашкова, В.А. Бубнова, С.Ю. Яновского. Волновые явления теплопроводности: Системно-структурный подход. 1993 года издания, хотя имеется более новое издание 2004 г.
3. В тексте работы имеются некоторые неточности и опечатки. Так, например, в главе 1 в параграфе 1.5 обсуждается решение задачи о распространении термоупругих волн в полупространстве и дается ссылка на систему уравнений под номером (2.1), которая находится в главе 2 на стр.52. При этом эта же система уже приведена в первой главе на стр.20 (см. уравнения 1.27). Имеются и другие неточности. Например, при обсуждении закона Бугера на стр.21 дается ссылка на рис.2.1, хотя правильный номер 1.1. Имеются аналогичные неточности и в ряде других мест.

В целом, отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы соискателя.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

В целом, диссертационная работа «Исследование колебательных и волновых процессов в термоупругой среде с учетом времени релаксации теплового потока» по используемым в ней теоретическим методам, по новизне научных результатов,

практической и научной значимости соответствует специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела и удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по данной специальности, а ее автор - Витохин Евгений Юрьевич заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент,

ведущий научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН,

доктор физико-математических наук

Муратиков К.Л.

