

Отзыв

официального оппонента на диссертацию

Ляжкова Сергея Дмитриевича

«Влияние граничных условий и нелинейных эффектов на перенос и перераспределение энергии в дискретных средах»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела

Актуальность темы. Исследование направлено на решение одной из задач механики деформируемого твёрдого тела: аналитического описания нестационарных волновых процессов переноса и перераспределения энергии в дискретных средах с учётом влияния граничных условий и нелинейных эффектов. Граничные условия (свободные, силовые или кинематические) имеют определяющее значение, поскольку именно вблизи свободных поверхностей или интерфейсов в реальных кристаллических материалах поведение дискретной среды существенно отличается от объёмного случая, а традиционные континуальные модели оказываются недостаточными. Нелинейные эффекты, в свою очередь, являются ключевым механизмом обмена энергией между различными степенями свободы и обеспечивают переход системы из неравновесного состояния к тепловому равновесию, что особенно важно при описании многотемпературных состояний, возникающих вдали от равновесия. Задачи, решаемые диссертантом, приобретают особую актуальность в связи с развитием технологий производства сверхчистых монокристаллических материалов и метаматериалов, а также с необходимостью решения проблем эффективного отвода тепловой энергии в микроэлектронике, где на соответствующем пространственном уровне наблюдаются существенные отклонения от закона Фурье. В этой связи развитие подходов, учитывающих влияние граничных условий и нелинейных эффектов в рамках дискретных моделей, приобретает особую актуальность.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и списка использованной литературы. Объём диссертации составляет 209 страниц машинописного текста (в том числе 54 рисунка). Список литературы содержит 311 источников.

Во введении описаны актуальность темы исследования и уровень разработанности темы, формулируется цель, задачи работы и научная новизна исследования, приводится описание использованных методов, перечисляются положения, выносимые на защиту, отмечается личный вклад автора.

Первая глава посвящена переносу энергии в полубесконечной линейной цепочке со свободной границей. Получено точное дискретное решение для кинетической энергии при заданном начальном её распределении и при стохастическом подводе энергии. Выведены континуальные приближения (симметричное, континуальное и дискретно-континуальное) с использованием метода стационарной фазы. Показано, что поле кинетической энергии вблизи границы затухает быстрее, чем в бесконечной цепочке.

Вторая глава посвящена подводу энергии в полубесконечную цепочку при силовом и кинематическом нагружении на границе для линейного и слабонелинейного случаев. В линейном приближении получено асимптотическое решение для скоростей частиц при нагружении на произвольной частоте. Выведены формулы для полной энергии, закачиваемой в цепочку на больших временах, в том числе при нагружении на частотах в полосе непропускания.

Третья глава посвящена влиянию нелинейности на перераспределение энергии между степенями свободы в упругих твёрдых телах. В качестве объектов исследования рассмотрены цепочка масса-в-массе и гранецентрированная кубическая решётка. Показано различие кинетических энергий при любой степени нелинейности, и получена аппроксимационная формула для масштаба времени выравнивания энергий в ГЦК решётке.

В заключении сформулированы основные выводы работы и перспективы дальнейшего исследования.

Оформление диссертации. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (ГОСТ Р 7.0.11-2011). Структура диссертации выстроена логично и последовательно. Работа написана грамотным научным языком. Диссертационная работа С.Д. Ляжкова отличается тщательно продуманной структурой и высокой технической реализуемостью, что способствовало получению новых аналитических и численных результатов. Вышеприведённые положения, выносимые на защиту, а также сделанные выводы обладают существенной научной новизной, что подтверждает достижение поставленных целей исследования. А методика аналитического описания процессов у свободной и нагруженной границы относится к практическому приложению.

Все основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих российских и международных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ. По теме работы опубликовано 5 статей, входящих в базы цитирования WoS/Scopus, РИНЦ или издания, рекомендованные ВАК России. По результатам работы получена апробация на престижных конференциях и семинарах.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация полностью соответствует паспорту научной специальности 1.1.8 — механика деформируемого твёрдого тела. Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертации. Работа посвящена развитию механики дискретных сред, аналитическому исследованию динамики деформируемого твёрдого тела и теории волновых процессов в средах различной структуры, а также математическому моделированию поведения дискретных деформируемых сред при механических воздействиях с учётом граничных условий и нелинейных эффектов. Полученные результаты вносят существенный вклад в вышеуказанные направления.

По диссертационной работе можно сформулировать следующие **вопросы и замечания:**

1. В качестве замечания по композиции диссертации следует отметить отсутствие традиционной отдельной главы, посвященной общему обзору

литературы. Анализ состояния вопроса и предшествующих исследований рассредоточен диссертантом по отдельным главам и Введению. Автору стоило бы явно указать на эту структурную особенность в разделе "Структура и объем диссертации", что облегчило бы первичное восприятие логики построения работы.

2. При проведении исследований автор использует такие методы как дискретное косинус-преобразование, метод стационарной фазы, а также симплектические методы интегрирования для численного исследования. Эти методы являются достаточно адекватными и результативными, однако из текста диссертации не вполне понятен выбор именно этих подходов. В качестве пожелания хотелось бы порекомендовать автору провести более развернутый сравнительный анализ и пояснить, в чем заключаются преимущества выбранных методов применительно к исследуемым задачам.

3. В первой главе диссертант показывает, что в однородной полубесконечной цепочке любое начальное распределение энергии приводит к антилокализации отраженной волны. В связи с этим возникает вопрос о структурной устойчивости данного эффекта по отношению к локальным возмущениям параметров решетки вблизи границы. В частности, сохранится ли выявленный характер затухания кинетической энергии, если рассмотреть неоднородность вблизи границы которая возникает, например, при наличии примесной частицы или локальном изменении жесткости первой межатомной связи?

4. В третьей главе при моделировании переходных процессов и выравнивания кинетических энергий по различным направлениям в гранецентрированной кубической решетке (ГЦК) используется укороченный парный потенциал Леннард-Джонса. В связи с этим возникает вопрос: в какой мере предложенная формула, аппроксимирующая зависимость масштаба времени выравнивания от начальной энергии, зависит от конкретного выбора межатомного потенциала? Сохранится ли выявленная закономерность при использовании более сложных, многочастичных потенциалов взаимодействия,

