

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.036.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
(ФИЛИАЛ – ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД)
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29.04.2026 № 171

О присуждении Ляжкову Сергею Дмитриевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Влияние граничных условий и нелинейных эффектов на перенос и перераспределение энергии в дискретных средах» по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела» принята к защите 11.02.2026, протокол № 170, диссертационным советом Д 004.036.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр (филиал – Институт механики сплошных сред) Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России № 87/нк от 26 января 2018 г.

Соискатель Ляжков Сергей Дмитриевич 1997 г. рождения, в 2021 г. окончил ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" (СПбПУ) по направлению подготовки «Механика и математическое моделирование». С 2021 г. обучался в аспирантуре очной формы обучения ФГАОУ ВО СПбПУ по научной специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела. В настоящее время работает ассистентом Высшей школы теоретической механики и математической физики Физико-механического института ФГАОУ ВО СПбПУ. Диссертация выполнена в Физико-механическом институте ФГАОУ ВО СПбПУ.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Высшей школы теоретической механики и математической физики Физико-механического института ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" Кузькин В.А.

Официальные оппоненты:

1. Голуб Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук (01.02.04), профессор, заведующий кафедрой теории функций ФГБОУ ВО "Кубанский государственный университет" (г. Краснодар);
2. Баимова Юлия Айдаровна, доктор физико-математических наук (01.04.07), профессор РАН, заведующий лабораторией физики и механики углеродных материалов ФГБУН "Институт проблем сверхпластичности металлов РАН" (г. Уфа); дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук" (ФИЦ ИПФ РАН), г. Нижний Новгород, в своем положительном заключении, составленном директором филиала ФГБУН ФИЦ ИПФ РАН "Институт проблем машиностроения РАН" (ИПМ РАН), д.ф.-м.н., профессором В.И.Ерофеевым; заместителем директора по научной работе ИПМ

РАН, ведущим научным сотрудником лаборатории волновой динамики и экспериментальной механики, д.ф.-м.н., доцентом И.С.Павловым, и утвержденном директором ФГБУН ФИЦ ИПФ РАН, академиком РАН, д.ф.-м.н. Г.Г.Денисовым, указала, что диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой получены аналитические и численные решения, описывающие перенос энергии упругими волнами в полубесконечных линейных и слабонелинейных цепочках при различных граничных условиях, а также исследованы процессы выравнивания значений кинетической энергии в нелинейных решётках. Достоверность и обоснованность результатов диссертации не вызывают сомнений, поскольку они подтверждаются строгой математической постановкой задач, совпадением аналитических решений с результатами численного моделирования, а также сопоставлением некоторых результатов с ранее опубликованными в литературе. Представленная диссертационная работа «Влияние граничных условий и нелинейных эффектов на перенос и перераспределение энергии в дискретных средах» по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела» удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ляжков Сергей Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела».

Соискателем опубликовано 5 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. Liazhkov S.D. Unsteady thermal transport in an instantly heated semi-infinite free end Hooke chain // Continuum Mechanics and Thermodynamics. 2023. Vol. 35, № 2. P. 413-430. (WoS, Scopus)

В работе рассматривался нестационарный баллистический перенос энергии в полубесконечной линейной цепочке со свободной границей и произвольным начальным профилем кинетической энергии. Предложено аналитическое решение, описывающее изменение во времени кинетической энергии как в точном виде, так и в приближённом. Показано что кинетическая энергия вдали от границы хорошо описывается с помощью приближённого решения, вблизи же границы наблюдается погрешность данного решения. Авторский вклад Ляжкова С.Д. в публикацию составляет 100%.

2. Liazhkov S.D. Energy supply into a semi-infinite β -Fermi–Pasta–Ulam–Tsingou chain by periodic force loading // Acta Mechanica. 2024. Vol. 235, № 6. P. 4005-4027. (WoS, Scopus)

Рассматривалась динамика полубесконечной цепочки с кубической нелинейностью и силовым граничным условием, заданным внезапной синусоидальной силой. Показано, что в линейном приближении поток энергии уменьшается с увеличением частоты нагружения. Получено асимптотическое приближение для полной энергии в нелинейной цепочке с использованием ренормализованного дисперсионного соотношения. Авторский вклад Ляжкова С.Д. в публикацию составляет 100%.

3. Ляжков С.Д., Бутузова Е.С. Подвод энергии в полубесконечную цепочку β -Ферми-Паста-Улама-Цингу при периодическом кинематическом нагружении // Прикладная математика и механика. 2025. Т. 89, № 4. С. 546-558. (ВАК, WoS, Scopus)

Изучен подвод энергии в полубесконечную одномерный цепочку с кубической нелинейностью и кинематическим граничным условием, заданным синусоидальным перемещением. Показано, что в линейном приближении задача подвода энергии может рассматриваться симметричной относительно границы при всех частотах нагружения. С использованием ренормализованного дисперсионного соотношения для цепочки получено асимптотическое приближение для закачиваемой энергии на больших временах. Авторский вклад Ляжкова С.Д. в публикацию составляет 75%.

4. Liazhkov S.D., Kuzkin V.A. Unsteady two-temperature heat transport in mass-in-mass chains // Physical Review E. 2022. Vol. 105, № 5. Art. id. № 054145. (WoS, Scopus)

В работе рассматривался нестационарный перенос тепловой энергии в бесконечной цепочке "масса-в-массе", состоящей из двух подрешеток: цепочки Ферми-Паста-Улама-Цингу и прикрепленных осцилляторов. Показано, что в процессе переноса энергии кинетические энергии подрешёток различаются, даже если в начальный момент времени они равны. Различные энергии сохраняются в нелинейном случае, особенно если массы прикрепленных осцилляторов существенно меньше масс частиц цепочки. Авторский вклад Ляжкова С.Д. в публикацию составляет 70%.

5. Kuzkin V.A., Liazhkov S.D. Equilibration of kinetic temperatures in face-centered cubic lattices // Physical Review E. 2020. Vol. 102, № 4. Art. id. № 042219. (WoS, Scopus)

В работе исследовался переходный процесс в гранецентрированной кубической решётке с линейными и нелинейными (потенциалом Леннарда-Джонса) взаимодействиями. Показано, что кинетические энергии, соответствующие различным ортогональным направлениям, выравниваются, и найден характерный масштаб данного процесса. Авторский вклад Ляжкова С.Д. в публикацию составляет 70%.

Публикации содержат в сумме 76 страниц и в полной мере отражают основные научные результаты работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Голуба М.В. В отзыве отмечено, что полученные результаты диссертационной работы обладают научной новизной и соответствуют актуальным направлениям исследований нестационарных волновых процессов переноса и перераспределения энергии в дискретных средах с учётом влияния граничных условий и нелинейных эффектов.

Оппонент отмечает следующие замечания:

- не приведены количественные оценки погрешности аппроксимации континуального решения (для кинетической энергии) при профилях начальных энергий с разрывом первой производной;
- термин «полоса непропускания» вводится без предварительного формального определения на уровне постановки задачи;
- в п. 1.1.5 недостаточно обосновано явление антилокализации отражённой волны, и нет пояснения механизма формирования данного явления;
- в п. 1.2 стохастическое воздействие задаётся белым шумом, при этом не обсуждается возможность использования цветного шума (например, процесса Орнштейна-Уленбека) для более реалистичного моделирования термических воздействий;

- пожелание определить область применимости параметра нелинейности: согласно результатам, представленным на рис. 2.11 и 2.17, пренебрежение взаимодействиями высших порядков приводит к систематическому смещению предсказанной критической частоты;
- в диссертации не проведён систематический анализ сходимости численных расчётов по шагу интегрирования, размеру системы и числу реализаций.

2. Положительный отзыв официального оппонента Баимовой Ю.А. В отзыве отмечается, что результаты диссертации являются новыми и вносят существенный вклад в развитие механики дискретных сред, теории волновых процессов в средах различной структуры, а также математического моделирования поведения дискретных деформируемых сред при учёте граничных условий и нелинейных эффектов.

Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- отсутствие традиционной отдельной главы, посвящённой общему обзору литературы; анализ состояния вопроса рассредоточен по главам и введению;
- пожелание провести более развёрнутый сравнительный анализ используемых методов и пояснить преимущества выбранных подходов;
- в первой главе возникает вопрос о структурной устойчивости эффекта антилокализации отражённой волны по отношению к локальным возмущениям параметров решётки вблизи границы (например, наличие примесной частицы или изменение жёсткости первой связи);
- в третьей главе отмечается вопрос о зависимости аппроксимационной формулы масштаба времени выравнивания кинетических энергий от вида межатомного потенциала, в частности — сохранится ли она для многочастичных потенциалов.

3. Положительный отзыв ведущей организации ФИЦ ИПФ РАН. В отзыве отмечается, что в диссертации получено значительное количество интересных научно-методических результатов, проведён большой объём теоретической и вычислительной работы, которая позволила не только получить новые интересные результаты, но и сформулировать перспективные пути их дальнейшего развития. Полученные результаты имеют как фундаментальное значение для механики дискретных сред, так и существенную практическую значимость — разработанные аналитические решения и континуальные приближения пригодны для широкого использования и способствуют развитию моделирования нестационарных тепловых процессов на микро- и наноуровне, в частности, для теоретического описания экспериментов методом transient thermal grating (TTG) и создания устройств управления тепловой энергией (тепловые диоды и транзисторы) для эффективного отвода тепла в микроэлектронных устройствах.

Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- целесообразно привести русский перевод аббревиатуры TTG и подробнее раскрыть связь кинетической энергии частиц с тепловой энергией;
- в механической модели (рис. 1.1) отсутствуют демпфирующие элементы, хотя в математической модели присутствуют слагаемые вязкого трения;
- некорректна подпись к рисунку 1.3 («Зависимость функции $\text{sinc}(\Delta\theta\Delta N)$ »);
- в подписи к рисунку 2.13 не указано, от какой величины зависят скорости закачки энергии;

- в п. 3.2.1 отсутствует иллюстрация взаимодействий частиц в ГЦК-решётке;
- пожелание рассмотреть также двумерную решётку (наравне с одномерными и трёхмерной), моделирующую тонкие плёнки из наночастиц.

На автореферат поступило 5 отзывов:

1. Положительный отзыв от Дмитриева С.В., д.ф.-м.н., профессора, заведующего лабораторией физики твердого тела ФГБУН "Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН", г. Уфа (без замечаний);
2. Положительный отзыв от Киселева А.П., д.ф.-м.н., профессора, ведущего научного сотрудника лаборатории математических проблем волновой теории Санкт-Петербургского филиала ФГБУН "Математический институт им. В.А. Стеклова РАН", г. Санкт-Петербург (1 замечание);
3. Положительный отзыв от Коробейникова С.Н., д.ф.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории механики композитов ФГБУН "Институт гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН", г. Новосибирск (1 замечание);
4. Положительный отзыв от Крауса Е.И., д.ф.-м.н., и.о. директора ФГБУН "Институт теоретической и прикладной механики им. С.А.Христиановича СО РАН", г. Новосибирск (3 замечания);
5. Положительный отзыв от Шилько Е.В., д.ф.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории компьютерного конструирования материалов ФГБУН "Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е.Панина СО РАН", г. Томск (2 замечания).

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

- отсутствует сравнение полученных численных решений с результатами, полученными в пакетах молекулярно-динамического моделирования;
- отсутствует количественная оценка погрешности континуальных аппроксимаций и критерии выбора мезомасштаба осреднения в главе 1;
- недостаточно полно приведено асимптотическое обоснование отсутствия роста амплитуды колебаний вблизи свободной границы при частоте нулевой групповой скорости в главе 2;
- не раскрыт метод усреднения при получении ренормализованного дисперсионного соотношения и границы применимости квазилинейного приближения в главе 2;
- диссипация энергии описана только в линейном приближении, несмотря на использование нелинейного потенциала взаимодействия;
- в разделе 3.2 не указаны граничные условия, начальная температура тела и влияние его размеров; рассмотрен лишь один вариант нелинейности потенциала Леннарда–Джонса;
- температура многократно упоминается во введении, но практически отсутствует в основном тексте автореферата.

В отзывах отмечено, что диссертация является законченным исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются ведущими специалистами в области механики деформируемого твёрдого тела, физики и механики материалов. М.В. Голуб обладает большим опытом в теории волн, дифракции и динамике структур с границами. Ю.А. Баимова — признанный эксперт в физике и механике углеродных и металлических наноструктур, включая дискретные модели. Их квалификация позволяет всесторонне оценить научную новизну, обоснованность и практическую значимость результатов диссертации;

ведущая организация ФГБУН ФИЦ ИПФ РАН является ведущим научным центром России в области исследований волновых и нелинейных процессов. В головном институте проводятся фундаментальные и прикладные исследования по радиофизике, лазерной физике, нелинейной оптике и геофизике. В филиале (ИПМ РАН) развиваются направления механики деформируемого твёрдого тела, усталостной прочности, волновых процессов в конструкциях и наноматериалах. Научные школы обоих подразделений поддерживаются грантами РФФИ, РФФИ и промышленными контрактами. Отзыв ведущей организации, содержащий подробную, по главам, характеристику содержания диссертационной работы; высокую положительную оценку актуальности темы исследования, достоверности, новизны, теоретической и практической значимости изложенных результатов, обсужден и одобрен на заседании научного семинара Института проблем машиностроения РАН в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработано теоретическое описание влияния граничных условий и нелинейных эффектов на процессы переноса и перераспределения энергии в дискретных моделях деформируемого твёрдого тела на примере одномерных цепочек и гранецентрированной кубической решётки;

предложены аналитические решения нестационарных задач динамики полубесконечных линейных цепочек под действием силового периодического нагружения на произвольной частоте, приближённые формулы для полной энергии, закачиваемой в цепочку при силовом и кинематическом граничных условиях, аппроксимирующая формула для времени выравнивания значений кинетической энергии в гранецентрированной кубической решётке с нелинейным потенциалом взаимодействия;

доказано более быстрое затухание начального распределения кинетической энергии в полубесконечной цепочке по сравнению с бесконечной цепочкой, а также отсутствие роста кинетической энергии вблизи границы при стохастическом воздействии в виде белого шума;

введен характерный масштаб времени выравнивания значений кинетической энергии, соответствующих ортогональным пространственным направлениям, в гранецентрированной кубической решётке с взаимодействиями Леннарда-Джонса.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны сохранение постоянной амплитуды колебаний частиц вблизи границы при силовом граничном условии, заданном периодической внешней силой на максимальной частоте полосы пропускания, различие значений кинетической энергии подрешёток в

цепочке масса-в-массе как при слабой, так и при сильной нелинейности, обратно пропорциональное времени затухание средней кинетической энергии в гранецентрированной кубической решётке с линейными взаимодействиями.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов):

использован комплекс точных и асимптотических методов, а также симплектические методы численного интегрирования;

изложены результаты анализа влияния слабой нелинейности на перенос энергии в полубесконечной цепочке при силовом и кинематическом граничных условиях, а также влияния свободной границы на перенос энергии в полубесконечной цепочке;

раскрыты особенности эволюции энергии вблизи свободной границы, отличающие её от изменения вдали от границы, а также особенности перехода к равновесию в дискретных системах;

изучены причинно-следственные связи между граничными условиями, степенью нелинейности и характером переноса и перераспределения энергии в одномерных цепочках и гранецентрированной кубической решётке;

проведена модернизация методов континуализации уравнений, описывающих перенос энергии в дискретных средах на примере полубесконечных линейных цепочек.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены методы аналитического и численного исследования переноса и перераспределения энергии в дискретных моделях с учётом граничных условий и нелинейных эффектов;

определены перспективы практического использования полученных решений для развития теории переноса тепловой энергии на микро- и наноуровне;

создана теоретическая модель переноса и перераспределения энергии в дискретных средах, учитывающая влияние граничных условий и нелинейных эффектов;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию моделей переноса и перераспределения энергии в дискретных средах с учётом граничных условий и нелинейности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на уравнениях динамики дискретных сред и известных решениях для бесконечных цепочек и решёток;

идея базируется на анализе и обобщении результатов предшествующих теоретических и численных исследований нестационарных волновых процессов в дискретных средах;

установлено качественное и количественное соответствие результатов численного моделирования с аналитическими решениями и известными результатами из литературы;

использованы эффективные численные и аналитические методы и современное вычислительное оборудование.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке всех исследовательских задач, получении точных и приближённых аналитических решений, проведении численной верификации результатов, подготовке публикаций и апробации работы на научных конференциях и семинарах.


Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов с формулированными целями.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.: в ней содержится решение задачи анализа влияния граничных условий и нелинейных эффектов на перенос и перераспределение энергии в дискретных моделях деформируемого твёрдого тела на примере одномерных цепочек и гранецентрированной кубической решётки.

На заседании 29 апреля 2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Ляжкову С.Д. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 19, против – 0, не проголосовало – 0.

Председатель
диссертационного совета Д 004.036.01
д.т.н., профессор, академик РАН
Матвеев Валерий Павлович



/ Матвеев В.П.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 004.036.01
д.ф.-м.н., доцент
Зуев Андрей Леонидович



/ Зуев А.Л.

30 апреля 2026 г.

М.П.