



Государственная корпорация
по космической деятельности «Роскосмос»



Акционерное общество
«Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения» (АО «ЦНИИмаш»)

ул. Пионерская, д. 4, корп. 22
г.о. Королёв,
Московская область, 141070

Тел.: +7 (495) 513 5951
Факс: +7 (495) 512 2100

e-mail: corp@tsniimash.ru
http://www.tsniimash.ru

ОГРН 1195081054310
ИНН/КПП 5018200994/501801001

27.01.2022 исх. № ВТ-1208

исх. № _____ от _____

Председателю диссертационного
совета Д 212.125.08
доктору техн. наук, профессору
Ю.А. Равиковичу
ФГБОУ ВО «Московский
авиационный институт (НИУ)»
Волоколамское ш., д. 4
Москва, 125993

Уважаемый Юрий Александрович!

Представляю отзыв ведущей организации – акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» на диссертационную работу Жукова Виталия Владимировича на тему: «Исследование внутренних механизмов переноса тепла, массы, импульса с учетом релаксационных явлений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Приложение: отзыв ведущей организации на 6 л.

Заместитель генерального директора по
прикладным исследованиям,
испытаниям и экспериментальной базе,
доктор технических наук

С уважением,



В.А. Титов

Отдел документационного
обеспечения МАИ

28 01 2022

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального
директора по науке АО «ЦНИИмаш»
доктор технических наук


А.А. Романов

«27» 01 2022 г.



Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Жукова Виталия Владимировича на тему:
«Исследование внутренних механизмов переноса тепла, массы, импульса с
учётом релаксационных явлений», представленную на соискание учёной
степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 –
«Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Для отзыва представлена квалификационная работа, состоящая из введения, шести глав и заключения. Объём работы составляет 146 страниц основного текста, в том числе 92 рисунка. Список литературы содержит 108 наименований.

Известные математические модели переноса тепла, массы, импульса основаны на параболических уравнениях, полученных на основе уравнений теплового и массового балансов с учетом феноменологических законов Фурье и Фика. При этом используется принцип локального термодинамического равновесия и гипотеза сплошной среды, согласно которым пренебрегается молекулярно-атомным строением вещества, то есть полагается, что в областях пространства и времени, сопоставимых с длиной и временем свободного пробега носителей энергии (молекул, атомов, электронов, ионов, фононов), перенос теплоты происходит мгновенно. Поэтому классические модели описывают бесконечную скорость переноса теплоты. Такие модели не могут быть использованы для описания быстропротекающих процессов, время изменения которых сопоставимо со временем релаксации. Для их описания необходима разработка новых математических моделей, основанных на учете молекулярно-атомного строения вещества, что приводит к учёту конечной скорости распространения теплоты. В связи с чем, тему диссертационной работы Жукова В.В., посвященную исследованию внутренних механизмов переноса тепла, массы, импульса с учётом релаксационных явлений, следует признать актуальной.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

28 01 2022

В представленной работе показана полная аналогия дифференциальных уравнений, полученных с учётом релаксационных явлений, для совершенно разнородных процессов (теплопроводность, диффузия, теплообмен в жидкостях, колебательные процессы в твердых телах, жидкостях и газах, электромагнитные колебания и др.).

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, описаны научная новизна работы, а также ее теоретическая и практическая значимость, отмечен личный вклад автора.

В первой главе рассмотрены и проанализированы известные публикации по теме диссертации. Показано, что существует большое число моделей, которые, однако не всегда между собой согласуются. В связи с чем, отмечается, что необходима разработка новой непротиворечивой теории локально-неравновесных процессов.

Во второй главе диссертации приводятся результаты численных исследований нелинейной задачи теплопроводности с нелинейным источником теплоты для бесконечной пластины с симметричными граничными условиями первого рода при экспоненциальном изменении коэффициента теплопроводности и внутреннего источника теплоты от температуры.

В третьей главе приводятся математические модели процессов переноса теплоты с учетом пространственно-временной нелокальности, вывод которых основан на учете в дифференциальных уравнениях длины и времени свободного пробега микрочастиц. Показано, что в зависимости от толщины пластины наблюдаются два режима теплообмена – диффузионный и баллистический.

В четвертой главе автор приводит результаты исследований динамической задачи термоупругости, для вывода уравнения которой впервые использована модифицированная формула закона Гука, учитывающая скорости изменения напряжения и градиента перемещения. Анализ результатов расчетов позволил сделать заключение, что при тепловом ударе на поверхности внутри среды возникают высокочастотные колебания перемещений. При этом наблюдается движение двух волн перемещений – тепловой и звуковой, скорости движения которых зависят от величин коэффициентов релаксации в тепловой и динамической задачах.

В пятой главе приведены результаты исследований разработанной в диссертации математической модели продольных колебаний закрепленного на одном из торцов стержня с учетом релаксационных явлений. По результатам экспериментов выполнена верификация математической модели, которая связана с определением коэффициентов релаксации и сопротивления, исходя из

совпадения полученного решения и результатов эксперимента, то есть путем решения обратной задачи.

В *шестой главе* приводятся результаты разработки математической модели незатухающих автоколебательных процессов в газе, возникающих от действия постоянного источника теплоты. Показано, что автоколебания возникают в случае, когда величина критерия больше или равна критическому значению

В *заключении* сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна проведенных автором экспериментальных и численных исследований заключается в следующем:

1. Выполнены детальные исследования причин и условий возникновения автомодельности, инерции и локализации теплоты в нелинейных задачах теплопроводности с нелинейным источником теплоты.
2. Получено приближенное аналитическое решение нелинейной задачи теплопроводности с нелинейным источником теплоты, позволяющее отделить стационарные режимы от процессов неограниченного возрастания температуры.
3. Предложены математические модели, включающие время релаксации и длину свободного пробега микрочастиц, позволяющие выполнять исследования внутренних механизмов переноса теплоты.
4. На основе использования модифицированного закона Фурье и уравнения теплового баланса разработана математическая модель локально-неравновесной трехмерной теплопроводности применительно к исследованию теплообмена в телах сложной конфигурации, в том числе и в наноматериалах.
5. Разработана математическая модель динамической термоупругости с учетом релаксационных явлений в тепловой и динамической задачах, применительно к исследованию напряжений и перемещений при воздействии на материалы мощных потоков излучений.
6. Разработана локально-неравновесная математическая модель колебаний газа, позволяющая выполнять исследования резонансных и бифуркационно-флаттерных колебаний при воздействии внешней механической нагрузки.
7. Разработаны локально-неравновесные математические модели продольных и поперечных колебаний стержня с учетом релаксационных явлений и выполнены их верификации с использованием результатов экспериментальных исследований.

Научная значимость результатов исследований обусловлена тем, что разработанные локально-неравновесные математические модели продольных и поперечных колебаний стержня, верифицированные с использованием экспериментальных данных, позволили сделать заключение о связи между

линейным гиперболическим и нелинейным параболическим дифференциальными уравнениями.

Полученные результаты и выводы являются достоверными и обоснованными.

Практическая ценность результатов заключается в разработке, анализе и верификации математических моделей локально-неравновесных процессов теплопереноса и термоупругости, которые позволили обнаружить некоторые новые, неизвестные ранее особенности их протекания. В частности, обнаружена невозможность мгновенного установления граничного условия первого рода, что свидетельствует о существовании верхнего предела в величинах коэффициентов теплоотдачи, превышение которого не представляется возможным ни при каких условиях нагрева (охлаждения) конструкции. Показано, что в зависимости от толщины пластины теплообмен может протекать в диффузионном и баллистическом режимах, что свидетельствует о влиянии размерных характеристик на физические свойства вещества.

Разработаны математические модели, алгоритмы и комплекс компьютерных программ 3D - моделирования высокоинтенсивных процессов теплопереноса и термоупругости в конструкциях сложной геометрической формы на основе учета времени передачи теплового импульса между частицами-носителями энергии (времени релаксации).

Предложены новые математические модели процессов продольных и поперечных колебаний упругих тел с учетом релаксационных явлений, показавшие наилучшее совпадение при описании реальных процессов колебаний стержней. Так, отличие теоретических результатов от экспериментальных было снижено с 42 % до 15 % благодаря использованию предлагаемых в диссертации релаксационных моделей, что является достаточным для их использования в инженерной практике.

На основании вышесказанного, результаты работы могут быть использованы в организациях аэрокосмической отрасли (ФГУП ЦАГИ, АО «РКЦ «Прогресс», АО «НПО Лавочкина», ПАО «РКК «Энергия», АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», АО «ЦНИИмаш» и др.):

- при проектировании и анализе быстропротекающих процессов теплопроводности и термоупругости в различных технических устройствах;
- при моделировании продольных и поперечных колебаний конструкций стержневой формы;
- для оценки температурных полей в нелинейных задачах теплопроводности и решения обратных задач.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность базируется на использовании при выводе математических моделей классических законов сохранения (теплового баланса, равновесия, движения) в сочетании с модифицированными формулами эмпирических законов Фурье и Гука, учитывающими скорости и ускорения движущих сил (градиентов соответствующих величин) и вызываемых ими следствий (тепловых потоков и напряжений). Полученные в диссертации результаты позволяют заключить, что разработанные таким путем модели позволяют учесть внутреннюю структуру вещества путем учета его молекулярно-атомного строения, что подтверждается наличием в определяющих уравнениях параметров, характеризующих длину и время свободного пробега микрочастиц (носителей энергии).

Апробация работы

Результаты, вошедшие в диссертационную работу, представлены на четырёх российских и международных конференциях: Десятой Всероссийской конференции с Международным участием «Математическое моделирование и краевые задачи» (Самара, 2016 г.); XXIX Международной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ – 29» (Самара, 2016 г.); X Всероссийской конференции по механике деформируемого твердого тела (Самара, 2017); Седьмой Российской национальной конференции по теплообмену (Москва, 2018 г.).

Публикации

По теме работы автор имеет 16 печатных работ, из которых 8 статей опубликованы в зарубежных журналах, индексируемых в системе Web of Science, 2 – в журналах, состоящих в системе Scopus, зарегистрированы 3 программы для ЭВМ.

Личный вклад автора является определяющим на всех стадиях исследования, бóльшая часть работы выполнена автором самостоятельно.

Замечания и пожелания

Эмпирические коэффициенты, содержащиеся в модифицированных законах Фурье, Гука (время релаксации, масштаб пространственной неоднородности и др.), которые определяют новые эффекты, заранее неизвестные при решении конкретной задачи (в отличие от теплопроводности, модуля упругости и пр.), должны выбираться по результатам сравнения с экспериментом. К сожалению, в работе приведен только один такой пример (колебания стержня). В этом направлении работу целесообразно продолжать.

Не до конца понятно заключение о том, что продольные и поперечные колебания закрепленного на одном из торцов стержня происходят с бесконечным числом амплитуд и частот.

Также не до конца ясно почему в нелинейной краевой задаче, включающей параболическое уравнение, возникает фронт температурного возмущения, характеризующий конечную скорость распространения теплоты.

Эти замечания не снижают общей высокой оценки работы.


Заключение

Представленная диссертационная работа демонстрирует способность автора самостоятельно ставить и решать научные проблемы. Материалы диссертационного исследования полно раскрывают выполненную работу и соответствуют научной специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи разработки новых математических моделей локально-неравновесных процессов переноса тепла, массы, импульса, имеющей значение для развития теплофизики и теоретической теплотехники. Она удовлетворяет всем критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», а ее автор, Жуков Виталий Владимирович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Диссертация обсуждена на заседании подсекции Научно-технического совета № 2-1 комплекса «Теплообмен и аэрогазодинамика» АО «ЦНИИмаш», протокол от 20.01.2022г. № 2.

Заместитель начальника Центра
прикладных исследований – начальник
комплекса теплообмена и аэрогазодинамики,
кандидат технических наук



Ю.В. Брылкин
24.01.2022г.

И.о. главного ученого секретаря
АО «ЦНИИмаш»,
доктор технических наук



В.Ю. Ключников
25.01.2022г.

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», 141074, Московская обл., г. Королёв, ул. Пионерская, 4.
Тел.: 8 (495) 513-59-51. Факс: 8 (495) 512-21-00, E-mail: corp@tsniimash.ru

С отзывом Ведущей организации ознакомлен



Жуков В.В.
28.01.2022г.