



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«МИРЭА – Российский технологический университет»  
**РТУ МИРЭА**  
просп. Вернадского, д. 78, Москва, 119454  
тел.: (499) 215 65 65 доб. 1140, факс: (495) 434 92 87  
e-mail: mirea@mirea.ru, http://www.mirea.ru

24.01.2022 № ИП/3-207

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Председателю диссертационного совета  
Д 212.125.08 на базе Московского  
авиационного института  
(национального исследовательского  
университета)  
доктору технических наук, профессору  
Равиковичу Ю.А.

125993, г. Москва, Волоколамское  
шоссе, д.4.

Уважаемый Юрий Александрович!

В ответ на Ваше письмо направляю в трех экземплярах отзыв официального  
оппонента д.ф.-м.н., профессора Карташова Э.М. на диссертационную работу  
Жукова Виталия Владимировича «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».

Первый проректор



Прокопов Н.И.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ  
26.01.2022

## Отзыв

официального оппонента на диссертацию Жукова Виталия Владимировича «Исследование внутренних механизмов переноса тепла, массы, импульса с учётом релаксационных явлений», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

**Актуальность темы диссертации.** Тема представленной к защите диссертации посвящена решению важной научной проблемы разработки новых математических моделей процессов переноса тепла, массы, импульса с учётом нелокальности реальных физических процессов. Известно, что классические модели указанных процессов основаны на двух допущениях: принципе локального термодинамического равновесия и гипотезе сплошной среды. Их использование позволяет выполнить переход от интегральных законов сохранения к дифференциальным уравнениям в частных производных. Так как получаемые таким путем уравнения не содержат внутренних характеристик вещества (длину и время свободного пробега микрочастиц), то, следовательно, его молекулярно – атомным строением пренебрегается. В связи с чем, тему работы, посвященной разработке новых математических моделей с учётом пространственно – временной нелокальности реальных физических процессов переноса, без сомнения, следует считать актуальной.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения, используемые при выводе новых дифференциальных уравнений теплопроводности, термоупругости, колебаний упругих твердых тел и газов, обоснованы в теоретических положениях расширенной необратимой термодинамики и являются обобщением известных классических уравнений переноса тепла, массы и импульса. Выводы и теоретические рекомендации подтверждены в ходе выполнения экспериментальных работ в АО «Ракетно-космический центр «Прогресс»».

### **В диссертации получены следующие новые результаты.**

1. На основе детальных численных исследований показана аналогия между нелинейным параболическим и гиперболическим уравнениями, проявляющаяся в автомодельности, локализации и инерции теплоты в нелинейной задаче теплопроводности с нелинейным источником теплоты.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

26.01.2022

2. Используя модифицированные формулы классических феноменологических законов Фурье и Гука, разработаны локально – неравновесные модели процессов переноса тепла, массы, импульса, учитывающие молекулярно – атомное строение вещества.

3. Путем учета скоростей и ускорений деформаций и напряжений в формуле закона Гука разработана математическая модель продольных колебаний стержня с учетом релаксационных свойств материалов.

4. С учетом двухфазного запаздывания в тепловой и динамической задачах разработана математическая модель локально – неравновесной динамической термоупругости.

5. Разработана нелокальная математическая модель колебаний газа с учетом внешней гармонической нагрузки, позволяющая исследовать резонансные и бифуркационно – флаттерные колебания (биения).

6. Разработана математическая модель автоколебаний газа при воздействии постоянной (негармонической) внешней тепловой нагрузки, позволяющая определить критерий возникновения автоколебаний.

**Достоверность научных положений диссертации** базируется на использовании при выводе определяющих уравнений математических моделей классических законов сохранения (теплого баланса, второго закона Ньютона, равновесия, движения), а также модифицированных формул феноменологических законов Фурье и Гука. Достоверность подтверждается также сравнением с решениями других авторов и с результатами экспериментальных исследований.

**Практическая значимость полученных результатов** заключается в получении некоторых новых особенностей протекания тепловых и колебательных процессов. И, в частности, показано, что теплообмен может протекать в диффузионном и баллистическом режиме. Баллистический режим наблюдается в случае, когда размерные характеристики объекта оказываются сопоставимыми с длиной свободного пробега микрочастиц (носителей энергии), что свидетельствует об изменении свойств тела при переходе к нанообъектам. Показано, что частота поперечных колебаний закрепленного на одном из торцов стержня оказывается максимальной в сечениях, приближенных к закрепленному торцу. Этот факт необходимо учитывать при проектировании конструкций авиационной и космической техники (лопатки компрессоров, газовых турбин и проч.). Анализ теоретических исследований продольных и

поперечных колебаний стержней позволил заключить о бесконечно большом числе амплитуд и частот. Показано, что выявленная временная задержка свободного торца стержня в его крайних положениях связана с переходом потенциальной энергии в кинетическую и наоборот.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация Жукова В.В. включает введение, шесть глав, заключение, список литературы, состоящий из 108 наименований, приложения. Объем диссертации составляет 146 страниц (без приложения), включая 92 рисунка.

**Во введении** обоснована актуальность работы, приводится цель и задачи, поставленные для достижения этой цели. Приводится оценка новизны, достоверности и практической ценности, сформулированы положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** выполнен обзор работ по теме диссертации. Показано, что существующие модели приводят к разным, а в ряде случаев, противоречивым результатам. В связи с чем, делается заключение о необходимости разработки новой единой теории локально – неравновесных процессов переноса тепла, массы, импульса.

**Во второй главе** даются результаты численных исследований нелинейной краевой задачи теплопроводности с нелинейным источником теплоты, позволившие обнаружить явления автомодельности, инерции и локализации теплоты, свидетельствующие о конечной скорости ее распространения. Выполненные детальные исследования позволили заключить о реализации двух вариантов теплообмена – стационарное состояние; неограниченное возрастание температуры (тепловой взрыв). Показано, что указанные явления свидетельствуют о наличии зависимости между линейным гиперболическим и нелинейным параболическим дифференциальными операторами.

**В третьей главе** диссертации приводятся результаты разработки новых математических моделей процесса переноса теплоты с учетом нелокальности реальных физических процессов. Их вывод основан на отказе от допущений о локальном термодинамическом равновесии и сплошности среды, лежащих в основе классических моделей, приводящих к параболическим уравнениям. В диссертации получены точные аналитические решения разработанных моделей, из анализа которых следует, что при переходе к нанообъектам наблю-

дается баллистический перенос теплоты, объясняемый изменением физических свойств среды.

**В четвертой главе** диссертации даны результаты разработки математической модели динамической термоупругости. Для вывода уравнения модели использован модифицированный закон Гука, в котором учитываются скорости изменения напряжений и деформаций. Из анализа результатов расчетов следует, что при тепловом ударе на границе внутри тела возникают высокочастотные колебания напряжений и перемещений.

**В пятой главе** даны результаты исследований математической модели продольных колебаний стержня с учетом релаксационных свойств материалов. Используя результаты экспериментальных исследований, выполнена верификация модели, связанная с уточнением коэффициентов релаксации и сопротивления трения. Применительно к поперечным колебаниям закрепленного на одном из торцов стержня показано наличие бесчисленного числа амплитуд и частот при максимальной частоте, наблюдающейся в сечениях стержня, приближенных к точке закрепления.

**В шестой главе** диссертации приведены результаты разработки математической модели автоколебаний в газе, возникающих от постоянного (неколебательного) источника теплоты. Математическая постановка задачи включает систему двух обыкновенных дифференциальных уравнений, которая сводится к одному уравнению третьего порядка. Анализ его точного аналитического решения позволил сформулировать критерий, определяющий критические условия возникновения автоколебаний.

По теме диссертации напечатано 16 статей, из которых 12 в рецензируемых изданиях, зарегистрированы 3 программы для ЭВМ.

Основные результаты работы докладывались на четырех российских и международных конференциях.

Опубликованные труды и автореферат диссертации отражают основные положения диссертации.

#### **Замечания по диссертации**

1. Применительно к нелинейной задаче, включающей параболическое уравнение, непонятно, чем можно объяснить локализацию теплоты?
2. Следует пояснить, в какой части гиперболической модели учитывается молекулярно – атомное строение вещества?

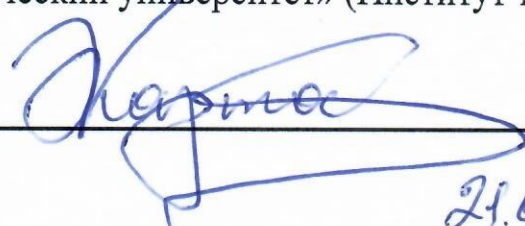
3. Следует пояснить, в чем состоит принципиальное отличие продольных и поперечных колебаний стержня применительно к амплитудам и частотам?

### Заключение по диссертации

Диссертация представляет законченную научно-квалификационную работу, обладающую научной новизной и практической значимостью, в которой решена важная задача разработки и исследования локально-неравновесных математических моделей процессов теплопереноса, термоупругости и колебаний упругих тел. Она отвечает критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждения ученых степеней», а ее автор, Жуков Виталий Владимирович, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Официальный оппонент:

Заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор физико - математических наук, профессор, профессор кафедры «Высшая и прикладная математика» ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (Институт тонких химических технологий)

  
Эдуард Михайлович Карташов  
21.01.2022

Подпись проректора Карташова Э.М. завершено,  
1 проректор  (Броков Н.И.)  


ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»

Почтовый адрес: 119454, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78.

Тел. +74992156565.

E-mail: [kartashov@mitht.ru](mailto:kartashov@mitht.ru)

С отзывом официального оппонента ознакомлен  
  
28.01.2022г.