

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Гарибьяна Бориса Александровича  
«Математическое моделирование теплофизического эксперимента  
на основе численных методов расщепления и идентификации»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ»

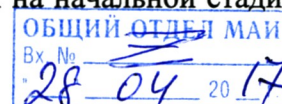
Диссертационная работа Б. А. Гарибьяна посвящена математическому моделированию тепловых процессов в твердых неоднородных материалах с целью идентификации переносных характеристик последних. В настоящее время требования к точности и экспрессности методов оценивания и прогнозирования теплофизических характеристик веществ и материалов существенно возросли. Соединение численного и физического прототипирования для подготовки планов экспериментальной оценки теплофизических характеристик, а также развитие методов теоретического прогнозирования переносных свойств твердых материалов представляют проблемную прикладную задачу. В связи с этим представляемая работа является актуальной.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех содержательных глав и заключения общим объемом 169 страниц. Список цитируемой литературы включает 184 наименования.

Во введении автором проведен литературный обзор работ по математическому моделированию тепловых процессов, теории обобщенной проводимости в гетерогенных средах, нестационарным методам группы мгновенного источника теплоты. Сформулированы цель и задачи исследования, обоснованы его актуальность, новизна и практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации классифицированы тепловые режимы твердых тел, дана физическая постановка задачи об импульсном нагреве источника теплоты цилиндрической формы расположенного на поверхности твердого образца и поджатого к нему с помощью упруго-деформируемой подложки, описаны методика и условия проведения эксперимента, параметры тепловой системы, принятые допущения и ограничения. Рассмотрены две идеализированные математические модели эксперимента, имеющие аналитическое решение, проведен их анализ. Поставлен вопрос о разработке более сложной математической модели, учитывающей наличие контактных зазоров между областями источника, твердого образца, подложки.

Вторая глава содержит обзор и математическое описание факторов, влияющих на нагрев источника физического метода измерений, главным из которых на начальной стадии



импульса названо контактное термическое сопротивление. Предложена математическая модель теплопереноса в системе «источник-образец-подложка» позволяющая учесть наличие контактного сопротивления. Методом теплового баланса разработана, а затем модифицирована для обхода криволинейных границ сопряжения тел системы, конечно-разностная схема. Проведено численное моделирование теплового процесса, изучено и проанализировано влияние параметров системы на вклад в приращение температуры источника, даваемый контактным сопротивлением. Поставлена задача об идентификации коэффициента теплопроводности твердого образца сопоставлением результатов моделирования и физического эксперимента. Данную задачу автор предлагает решать численно, двумя способами: восстановлением параметров идеализированной кривой, соответствующей регулярному тепловому режиму, а также как коэффициентную обратную задачу по критерию минимума соответствующего квадратичного функционала, применяя эвристический метод нулевого порядка. С помощью указанных методов восстановлены коэффициенты теплопроводности нескольких эталонных диэлектриков. Проведена верификация результатов оценивания, отмечены достоинства и недостатки предлагаемых методов.

В третьей главе диссертации описан подход к теоретическому прогнозированию характеристик проводимости гетерогенных сред методом элементарной ячейки, температурные поля в которой предложено усреднять с помощью интеграла энергии. Разработаны методика получения приближенно-аналитических формул проводимости, математическая модель теплопереноса в рамках ячейки бинарной гетерогенной среды. Соответствующая модели задача теплопроводности сформулирована как нестационарная, она лишена нескольких существенных ограничений, присущих приближенно-аналитическому методу, однако требует решения с использованием численных методов. Получены численные зависимости и приближенно-аналитические формулы проводимости бинарных материалов в зависимости от объемной концентрации менее проводящего компонента для бинарных материалов с разными типами структур: изолированные включения, вытянутые компоненты, взаимопроникающие компоненты и волокнистый тип, зернистые и связанные структуры. Проведен упрощенный расчет теплопроводности ряда твердых материалов. Теоретические и расчетные результаты верифицированы с известными в литературе зависимостями и значениями.

В четвертой главе описан разработанный комплекс программ численной идентификации и прогнозирования коэффициента теплопроводности твердых образцов неоднородных материалов на основе высокоточных численных методов расщепления и их модификаций.

В заключении подведен итог и приведены полученные в работе основные результаты.

В диссертации имеется ряд недостатков. В частности:

1. Предлагаемая математическая модель метода мгновенного нагрева не учитывает лучистую составляющую теплопереноса газ – твердое тело и твердое тело – твердое тело, что снижает температурные рамки и искажает модельные данные при решении задачи идентификации.

2. В главе 2 не были исследованы сходимости по густоте пространственной дискретизации, а также ресурсно-временные затраты, тогда как в модели теплопереноса в элементарной ячейке (глава 3) такие исследования проведены.

3. В главе 3, при исследовании устойчивости разностной схемы упоминается о верификации расчетных значений эффективного коэффициента теплопроводности со значениями, даваемыми по другой расчетной формуле, взятой из литературы, однако эти данные не отображены на приводимых автором графиках.

Помимо этого к недостаткам можно отнести употребление автором не слишком удачных фраз, например, «относительное отклонение мгновенной скорости приращения», «поле цилиндрической симметрии» и др.

Отмеченные недостатки носят частный характер и не отражаются на общей положительной оценке работы. Результаты проведенных изысканий представляют несомненную теоретическую и практическую ценность.

Актуальность темы диссертации, практическая значимость полученных результатов, высокий научный уровень проведенного исследования, сопоставление результатов математического моделирования с результатами экспериментов являются достоинствами диссертации. Достоверность результатов, представленных в данной работе, в целом не вызывает сомнений. Автором разработаны математические модели теплопереноса, численная реализация которых выполнена на основе современных высокоточных методов группы расщепления, показаны преимущества используемых алгоритмов. Предложенные математические модели и разработанный программный комплекс дают возможность с высокой степенью достоверности идентифицировать проводящие свойства твердых материалов и могут применяться при подготовке планов и эффективного проведения теплофизического эксперимента методом мгновенного источника. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при создании нового лабораторного стенда по оцениванию теплофизических характеристик твердых материалов на имеющейся аппаратно-элементной базе экспресс-метода мгновенного нагрева линейного источника теплоты.

Тематика диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Основные результаты диссертационной работы опубликованы в периодических журналах из перечня ВАК РФ, с высокими импакт-факторами, в трудах международных конференций, автором получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Список цитируемой литературы соответствует содержанию. Автореферат диссертации достаточно полно соответствует содержанию работы и отражает основные полученные в ней результаты. Работа изложена хорошим научным языком и снабжена качественными информативными иллюстрациями.

Упомянутое выше дает основание считать, что представленная диссертационная работа «Математическое моделирование теплофизического эксперимента на основе численных методов расщепления и идентификации», удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Б. А. Гарибян заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

**Официальный оппонент,**

д.ф.-м.н., профессор, в.н.с. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 119991 ГСП-1 г. Москва, Ленинский проспект, д. 53  
Тел.: +7(499) 132-64-32  
e-mail: kazar@sci.lebedev.ru



Казарян Мишик Айразатович  
«27» апреля 2017 г.

Подпись в.н.с. Казаряна М.А. заверяю  
Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, к.ф.-м.н.



Колобов А.В.