

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.04

**Соискатель:** Гарибян Борис Александрович

**Тема диссертации:** Математическое моделирование теплофизического эксперимента на основе численных методов расщепления и идентификации

**Специальность:** 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

**Решение диссертационного совета по результатам защиты:** На заседании 19 мая 2017 года, протокол № 48, диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Гарибяну Борису Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

**Присутствовали:** Наумов А. В. – *председатель*, Северина Н. С. – *ученый секретарь*, а также члены диссертационного совета: Битюков Ю. И., Борисов А. В., Бортаковский А. С., Босов А. В., Грумондз В. Т., Денисова И. П., Кан Ю. С., Кибзун А. И., Короткова Т. И., Красинский А. Я., Кузнецов Е. Б., Кузнецова Е. Л., Кулагин Н. Е., Куравский Л. С., Марков Ю. Г., Пантелеев А. В., Ревизников Д. Л., Семенихин К. В., Синицин В. И., Сиротин А. Н., Формалев В. Ф., Хрусталева М. М., Ципенко А. В.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.125.04, к.ф.-м.н., доцент

 Н. С. Северина

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.04 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 19.05.2017 № 48

О присуждении Гарибяну Борису Александровичу, гражданину РФ,  
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование теплофизического эксперимента на основе численных методов расщепления и идентификации» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите «17» марта 2017 года, протокол № 43, диссертационным советом Д 212.125.04 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012, об изменении состава диссертационного совета № 628/нк от 07.10.2013, 574/нк от 15.10.2014, № 1339/нк от 29.10.2015, № 710/нк от 21.06.2016, № 1403/нк от 01.11.2016.

Соискатель Гарибян Борис Александрович 1978 года рождения, в 2001 году окончил с отличием факультет «Прикладная математика и физика» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный авиационный институт (технический университет)» по специальности «Прикладная математика».

В декабре 2016 года окончил аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Работает ассистентом кафедры «Математическая кибернетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре «Математическая кибернетика» факультета «Прикладная математика и физика».

Научный руководитель – профессор кафедры «Физика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», доктор технических наук, профессор Спирин Геннадий Георгиевич.

Официальные оппоненты:

1. Казарян Мишик Айразатович, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук» (ФИАН), лауреат государственной премии СССР в области науки и техники.

Дал положительный отзыв на диссертацию.

2. Благодоров Лев Александрович, гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» (МГУ), доцент.

Дал положительный отзыв на диссертацию.

3. Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский

государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина».

Дала положительный отзыв на диссертацию.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**Отзыв на диссертацию ведущей организации.**

Замечания по диссертации:

1. В формулах (1.8), (1.9) диссертации и в формуле (1) автореферата обнаружена неверная запись порядков малости слагаемых: вместо  $O$ -большого следует писать  $o$ -малое. В противном случае, эти формулы не имеют физического смысла, который автор в них вкладывает.
2. Во всей работе (и автореферате) при записи конечно-разностных схем, порядок их аппроксимации было бы корректнее приводить в правой части равенства, а разностный аналог дифференциального уравнения теплопроводности – в левой части. Представление конечно-разностных схем в виде 3-диагональных СЛАУ, решаемых методом прогонки, вообще не должно содержать информацию о порядке аппроксимации.

Замечания 1 и 2 демонстрируют, что соискатель недостаточно владеет понятиями асимптотического сравнения порядка функций  $O$ -большое и  $o$ -малое.

3. В главе 2 приведена модель нестационарного нагрева источника цилиндрической формы, которая не учитывает явление термодформации. Остается непонятным, насколько адекватна предлагаемая модель.
4. В работе, как для решения задачи из главы 2, так и для задачи главы 3 необоснован выбор в пользу метода конечных разностей. Возможно, метод конечных элементов (МКЭ) или метод конечных объёмов (МКО) оказались бы более подходящими вариантами численной реализации моделей теплопереноса.
5. Теорема 2.1 сформулирована нечетко, т.е. в её тексте нет деления на условие теоремы и её доказательство.

6. В теореме 2.2 диссертации (и автореферата) говорится об абсолютной устойчивости разностной схемы «по входным данным и по правым частям». Слова «по правым частям» писать не следует, поскольку входные данные определяются как граничные и начальные условия, а также правые части. В доказательстве теоремы 2.2 обращение к работе [71] требует уточнения; неясно, какую из доказанных в книге теорем диссертант имел в виду.
7. В автореферате (в отличие от диссертации) не указан точный вид приближенно-аналитических зависимостей относительных эффективных теплопроводностей, приводимых для верификации полученных автором результатов, что затрудняет восприятие этих результатов.
8. Формула (14) автореферата содержит уточняющий параметр  $b$ , но в идентичной формуле (3.14) диссертации этот параметр отсутствует. В автореферате имеются неверные ссылки на формулы, например, на странице 16 во втором абзаце дается ссылка на формулу (14), вместо (15).
9. В тексте диссертации имеется несколько несоответствий ссылок списку цитируемых источников, а в самом списке присутствуют источники, на которые автор ни разу не ссылается, например, [68], [70], [113], [122]. Известная монография О.М. Алифанова [1] приведена в списке дважды, причем второй раз в виде англоязычной версии [165]. В списке источников отсутствует следующая монография, являющаяся, на наш взгляд, ключевой работой по построению и исследованию разностных схем экономичных численных методов группы расщепления, используемых в диссертации: Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Аддитивные схемы для задач математической физики. – М.: Наука, 2001. – 319 с.

Наконец, список источников содержит недостаточно работ, посвященных осреднению тепловых полей в композиционных материалах (например, монография Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Осреднение процессов в периодических средах. – М., Наука, 1984. – 352 с.).

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Казаряна Мишика Айразатовича.**

Замечания по диссертационной работе.

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 сходимость 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.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Благодрава Льва Александровича.**

Замечания по диссертационной работе.

1. Подробно анализируя особенности метода линейного источника, представляющего собой тонкую проводящую нить, автор не упоминает о других экспериментальных методах. Известны работы, в которых используются в качестве зонда тонкие металлические пленки, нанесенные способом напыления на поверхность твердых диэлектрических образцов. Такой способ зондирования как будто в меньшей степени зависит от качества термического контакта. Автор в диссертации не упоминает об этих работах, и ему следовало бы объяснить предпочтительность использования тонких проволочных зондов

перед альтернативными вариантами. Правда, это увеличило бы объем диссертации, который и так довольно большой.

2. Возможно, часть материала имело смысл перенести в приложения. Есть небольшое замечание по оформлению работы.

3. Довольно часто автору приходится приводить конкретные данные с указанием размерности величин. При этом ему не каждый раз удается избежать ошибок при указании размерности удельного сопротивления и теплопроводности. Буквально на одной странице приведены величины с указанием в одном случае правильной размерности, в другом случае - неправильной. Например, размерность удельного сопротивления приводится в виде отношения *ом*, деленный *метр*, в то время как должно быть *ом*, умноженный на *метр*. В другом месте размерность той же величины указана правильно.

4. В разделе 3.2, при формальной записи порядка следования дихотомических сечений в ячейке адиабатическими поверхностями и изотермическими плоскостями, автор применяет неудобную линейную систему обозначений в виде последовательности букв "а", "и" соответственно. В ряде случаев по этим последовательностям невозможно восстановить используемые схемы сечений.

**Отзыв на диссертацию от к.ф.-м.н., доцента кафедры «Высшая математика» РГУ Нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, доцента Королевой Юлии Олеговны**

Отзыв положительный, без замечаний.

**На автореферат диссертации поступило 4 отзыва.** Все отзывы, поступившие на автореферат диссертации, положительные. В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, отмечены новизна, достоверность полученных автором результатов и их теоретическая и практическая значимость.

**ФГБОУ ВО «Самарский Государственный технический университет»**

Отзыв составлен доктором физико-математических наук, профессором Астафьевым Владимиром Ивановичем.

### Замечания по автореферату.

1. Не понятны границы применимости метода источника и предлагаемых моделей по диапазону температур, а также по характеристикам образцов; из текста можно лишь догадаться, что в качестве образцов исследуются диэлектрики;

2. В тексте даются оценки погрешности идентификации теплопроводности с помощью предлагаемых методов, однако при обработке данных эксперимента с эталонным образцом автор не указал погрешности измерений температуры источника;

3. В табл. 1 приведены графики зависимостей относительных эффективных коэффициентов теплопроводности от концентрации менее проводящего компонента. Сегодня общепринятой практикой считается сопоставление таких зависимостей с двусторонними оценками Хашина-Штрикмана (Hashin Z., Shtrickman S.), которые не показаны на рисунках.

### **ФГБОУ ВО «Российский технологический университет им. Д.И. Менделеева»**

Отзыв составлен кандидатом педагогических наук, доцентом кафедры «Высшая математика» Бурухиной Татьяной Федоровной.

### Замечания по автореферату.

1. Задача параметрической идентификации подразумевает сопоставление результатов моделирования с результатами эксперимента, однако не затрагивается важный вопрос о возможном наличии в измерениях выпадающих значений и их влиянии на результаты решения задачи идентификации;

2. Для элементарных ячеек типа «взаимопроникающие компоненты» (содержание главы 3), которые согласно проведенной автором классификации выделены в отдельный класс, в таблице 1 не приводятся соответствующие геометрическая модель структуры и графики проводимости. Почему?

### **Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»**

Отзыв составлен кандидатом технических наук, доцентом кафедры математики Адигамовым Аркадием Энгелевичем.

Замечания по автореферату.

1. Текст автореферата перегружен аббревиатурами, что затрудняет его восприятие;

2. Не ясно, выполнялось ли при идентификациях коэффициента теплопроводности предлагаемыми методами сопоставление выигрыша по точностным и качественным характеристикам с затраченным временем и ресурсами на расчеты;

3. В разделе 3.3 сформулирована нестационарная задача теплопроводности, которая решается численно с целью установления, однако ничего не сказано о значениях времен установления и их связи с пороговым уровнем, связи порогового уровня с вычислительными затратами.

**ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет  
Гражданской Авиации»**

Отзыв составлен доктором технических наук, профессором кафедры физики факультета авиационных систем и комплексов, заслуженным работником высшей школы Российской Федерации Камзоловым Сергеем Константиновичем.

Замечания по автореферату.

1. Текст автореферата перегружен аббревиатурами и чрезмерно длинными предложениями, что затрудняет его прочтение;

2. В задаче идентификации коэффициента теплопроводности (разд. 2.3), которая решена эвристическим методом нулевого порядка – имитации отжига, не приведено обоснование преимущества метода перед множеством других, например, перед градиентным методом;

3. В выводах по работе не приведены значения погрешностей, позволяющих оценить достоверность полученных результатов;

Пожелание.

В дальнейших исследованиях представляется интересным и важным для практики конструирования новых материалов решение обратной задачи – определений физических параметров по заданным функциональным свойствам.

Соискатель имеет 14 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них 6 в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, и 1 в издании, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Большинство работ опубликовано в соавторстве, при этом вклад соискателя был определяющим, а опубликованные результаты получены либо лично соискателем, либо при непосредственном участии соискателя. Без соавторов опубликована 1 научная работа. В опубликованных работах излагаются основные положения диссертационной работы:

Формирование математической модели теплопереноса в системе составных тел и оценивание эффективных теплофизических характеристик твердых неоднородных материалов по результатам моделирования и по данным теплофизического эксперимента, проводимого на иррегулярной стадии методом мгновенного источника теплоты постоянной мощности. Исследование и обоснование использования интеграла энергии в качестве характеристики стационарного температурного поля. Обоснование методики получения приближенно-аналитических формул эффективных коэффициентов теплопроводности бинарных неоднородных материалов. Разработка алгоритмов расчета температурных полей при нестационарном нагреве элементарной ячейки бинарного материала и численного определения ее эффективной теплопроводности с учетом на установление с помощью интеграла энергии. Вычисления и анализ расчетных оценок коэффициента теплопроводности некоторых твердых (в том числе неоднородных) материалов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. *Василевский Д.В., Гарибян Б.А., Спири́н Г.Г.* Исследование неравновесности при быстром плавлении вещества // Теплофизика высоких температур. – 2009. – Т. 47, № 4.– С. 637–640.

2. *Василевский Д.В., Гарибян Б.А., Спири́н Г.Г.* Тепловая активность дисперсного материала с плавящимся компонентом // Вестник МАИ. – 2009. – Т. 16, № 2.– С. 109–113.

3. *Василевский Д.В., Гарибян Б.А., Спири́н Г.Г.* Теплофизические аспекты взаимодействия пилота с внешней средой // Вестник МАИ. – 2010. – Т. 17, № 4.– С. 26–29.

4. *Гарибян Б.А., Спири́н Г.Г.* Принцип минимума действия в задачах стационарного теплообмена // Научное обозрение. – 2013. – № 7.– С. 92–98.

5. *Гарибян Б.А., Спири́н Г.Г.* Вариационный метод поиска приближенно-аналитических решений стационарных задач теплопроводности с нелинейностью 1-го рода // Информ. и телеком. технологии. – 2014. – № 21. – С. 36–42.

6. *Гарибян Б.А., Спири́н Г.Г.* Расчет эффективной теплопроводности авиационных материалов с помощью функционала «действие» // Вестник МАИ. – 2014. – Т. 21, № 4. – С. 168–180.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **Разработана** математическая модель теплопереноса в областях с разрывами ТФХ. **Обоснован** по аппроксимации и устойчивости метод численного решения задачи, который использован для исследования теплового процесса в методе мгновенного нагрева линейного источника теплоты. **Предложен** критерий и проведено оценивание главного фактора начальной стадии – контактного термического сопротивления.

– **Разработаны** методы и алгоритмы численного решения задачи идентификации ТФХ твердых материалов по восстановлению планов ТФЭ, на основе которых **предложен** вариант интегрированной технологии автоматизации экспериментов, проводимых методом мгновенного нагрева линейного источника теплоты.

– **Сформирован** алгоритм применения интеграла энергии для решения основной задачи теории обобщенной проводимости методом элементарной ячейки. **Получены** новые приближенно-аналитические формулы эффективных коэффициентов теплопроводности бинарных неоднородных материалов с разными типами структур.

– **Разработана** математическая модель нестационарного нагрева элементарной ячейки бинарного неоднородного материала. **Предложены** методика и алгоритм численного расчета эффективных коэффициентов теплопроводности с помощью интеграла энергии. **Получены** численные зависимости эффективных коэффициентов теплопроводности бинарных неоднородных материалов с разными типами структур.

– **Создан** комплекс прикладных программ моделирования нестационарных тепловых процессов в твёрдых неоднородных материалах, позволяющий оценивать их эффективные коэффициенты теплопроводности предлагаемыми методами. **Получены** оценки эффективных коэффициентов теплопроводности ряда твёрдых материалов численным моделированием а) нагрева линейного источника теплоты, б) элементарной ячейки неоднородного материала.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована тем, что:

– предложен и обоснован по аппроксимации и устойчивости конечно-разностный метод решения задачи теплопереноса в областях с разрывами теплофизических и геометрических характеристик;

– разработаны методы численного решения задачи об идентификации переносных характеристик твердых образцов и восстановления планов теплофизического эксперимента, на основе которых предложен вариант интегрированной технологии автоматизации эксперимента, проводимого методом мгновенного нагрева линейного источника теплоты;

– исследован и рассмотрен в качестве характеристики стационарного температурного поля функционал типа «действие» (интеграл энергии), на основе которого разработаны новые приближенно-аналитические, численные методы теоретического прогноза эффективных характеристик переноса твердых неоднородных материалов.

**Значение для практики** полученных результатов заключается в том, что разработанные математические модели, численные методы и алгоритмы интегрированный подход (численное моделирование + лабораторный эксперимент + идентификация) в теплофизическом эксперименте, проводимом контактным экспресс-методом мгновенного нагрева линейного источника теплоты, и могут послужить основой для создания нового лабораторного стенда на существующей аппаратно-элементной базе метода. Предложенные приближенно-аналитические и численные методы на основе применения интеграла энергии позволяют получать зависимости эффективных переносных характеристик, значения времен установления для элементарных ячеек неоднородных материалов различной, в том числе сложной, геометрии. Сформированный комплекс прикладных программ теоретического прогнозирования и численной идентификации ЭКТ твердых образцов неоднородных материалов может быть использован для решения практических задач.

Оценка **достоверности** результатов исследования выявила, что результаты, представленные в диссертационной работе, подтверждаются корректным использованием методов исследования, строгими математическими постановками и доказательствами, адекватными математическими моделями, а также согласованием полученных расчетных данных с зависимостями, известными в литературе, полученными в лабораторных экспериментах, данными по эталонным образцам.

**Личный вклад** соискателя состоит в формулировке и доказательстве основных теоретических результатов, разработке всех приведенных классификаций, методик вычислений, разностных схем, подбор и модификации численных методов, вычислительных алгоритмов и методик вычислений, а также их программная реализация на ЯПВУ C++ в кросс-платформенной среде Qt Creator 5.3, проведение численных модельных экспериментов, расчеты и анализ полученных данных.

Диссертация удовлетворяет пункту 9 постановления Правительства РФ №842 от 24.09.2013 “О порядке присуждения ученых степеней”, так как

является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области приближенных методов идентификации и прогнозирования характеристик переноса твердых материалов; решенные автором задачи оценивания коэффициента теплопроводности твердых материалов и их композиций имеют важное прикладное значение.

На заседании «19» мая 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Гарибяну Б. А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 25 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 24, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель диссертационного совета  
Д 212.125.04, д.ф.-м.н., профессор

А. В. Наумов

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.125.04, к.ф.-м.н., доцент

Н. С. Северина