

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** 24.2.327.02

**Соискатель:** Ненахов Евгений Валентинович

**Тема диссертации:** Динамические задачи теории теплового удара

**Специальность:** 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

**Решение диссертационного совета по результатам защиты:** На заседании 30 декабря 2021 года, протокол № 19, диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Ненахова Е. В. «Динамические задачи теории теплового удара» 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 Ненахову Евгению Валентиновичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

**Присутствовали:** Наумов А. В. – председатель диссертационного совета, Кибзун А. И. – зам. председателя диссертационного совета, Рассказова В. А. – ученый секретарь диссертационного совета, а также члены диссертационного совета: Бардин Б. С., Битюков Ю. И., Борисов А. В., Босов А. В., Грумондз В. Т., Денисова И. П., Кан Ю. С., Колесник С. А., Короткова Т. И., Котельников М. В., Красинский А. Я., Кузнецов Е. Б., Кузнецова Е. Л., Кулагин Н. Е., Куравский Л. С., Ревизников Д. Л., Семенихин К. В., Сеницин В. И., Формалев В. Ф., Ципенко А. В.

Ученый секретарь диссертационного  
совета 24.2.327.02, к.ф.-м.н.

*Рассказова*

В. А. Рассказова

Начальник  
Т.А.



*Т.А.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.02,  
СОЗДАННОГО 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 30.12.2021 № 19

О присуждении Ненахову Евгению Валентиновичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Динамические задачи теории теплового удара» по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите «28» октября 2021 года (протокол заседания № 18) диссертационным советом 24.2.327.02, созданным 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, № 1017/нк от 20.10.2017, № 272/нк от 27.03.2019, о советах по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук №561/нк от 03.06.2021.

Соискатель Ненахов Евгений Валентинович, 11 марта 1994 года рождения. В 2017 году соискатель окончил Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) по специальности «Фундаментальная информатика и информационные технологии». В период подготовки диссертации Ненахов Е.В. обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный

исследовательский университет)» по программам подготовки научно-педагогических кадров в системе послевузовского профессионального образования по научной специальности 01.06.01 «Математика и механика» с 01.09.2017 г. по 31.08.2021 г. Соискатель с сентября 2017 по май 2020 года работал ассистентом кафедры №813 МАИ. Затем, с сентября 2020 по настоящее время работает старшим преподавателем кафедры №813 МАИ. С декабря 2016 года по февраль 2018 года работал ведущим инженером в ФГУП «ГлавНИВЦ» Управления делами Президента РФ. Затем, с февраля 2018 по июнь 2020 работал руководителем группы в Luxoft, а DXC Technology Company. С июня 2020 по настоящее время работает руководителем направления разработки в ООО «МТС Диджитал».

Диссертация выполнена на кафедре 813 «Компьютерная математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Карташов Эдуард Михайлович, профессор по внешнему совместительству кафедры № 813 «Компьютерная математика» Московского авиационного института (национального исследовательского университета), профессор кафедры «Высшая и прикладная математика» ИТХТ им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА.

**Официальные оппоненты:**

1. Ломовской Виктор Андреевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией «Структурообразования в дисперсных системах» Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН.
2. Валишин Анатолий Анатольевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Вычислительная математика и математическая физика» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» Институт физики и прикладной математики в своем положительном отзыве, подписанном директором Института физики и прикладной математики НИУ МИЭТ, доктором физико-математических наук, профессором, Боргардтом Николаем Ивановичем, доктором физико-математических наук, профессором, Яковлевым Виктором Борисовичем, доктором физико-математических наук, профессором, Бардушкиным Владимиром Валентиновичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, Лавровым Игорем Викторовичем и утвержденным проректором по научной работе ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», доктором технических наук, профессором Гавриловым Сергеем Александровичем указала, что диссертационная работа является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой на актуальную тему, содержащей новые научные результаты, полученные с применением классических методов математического моделирования. Работа соответствует паспорту специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (физико-математические науки). Диссертация отвечает всем требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Ненахов Евгений Валентинович, заслуживает присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Соискатель имеет 20 опубликованных научных работ по теме диссертации, из которых 10 работ опубликованы в изданиях из перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий (в том числе 3 работы опубликованы в журналах, реферируемых в международных базах Scopus и Web of Science). Зарегистрированы 3 программы для ЭВМ.

Содержание данных работ в полной мере отражает содержание диссертационной работы, в которой отсутствуют некорректные и недостоверные ссылки, соискателем в данных работах получены основные практические и теоретические результаты.

**Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:**

1. Kartashov, E.M, Nenakhov, E.V. Model Representations of a Heat Stroke of a Massive Body with an Internal Cavity // *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2021. Vol. 13. No. 6. pp. 1077–1086.
2. Kartashov, E.M., Nenakhov, E.V. Thermal reaction during thermal shock of a massive body with an internal cylindrical cavity // *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*. 2020. Vol. 6. pp. 60–79.
3. Ненахов Е.В., Карташов Э.М. Оценки температурных напряжений в моделях динамической термоупругости. // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. 2022. № 1. С. 47-55
4. Ненахов Е.В., Джемесюк И.А., Карташов Э.М. Теория теплового удара на основе обобщенной модели динамической термоупругости. М.: Научное обозрение. 2019. №1. С. 28-39.
5. Карташов Э.М., Ненахов Е.В. Модельные представления теплового удара в динамической термоупругости. // *Известия РАН. Энергетика*. 2019. №2. С. 1-22.
6. Карташов Э.М., Ненахов Е.В. Теория теплового удара в моделях динамической термоупругости. // *Тепловые процессы в технике*. 2019. Т.11. №5. С. 230-240.
7. Карташов Э.М., Ненахов Е.В. Термическая реакция массивного тела на тепловой удар на основе уравнений гиперболического типа. // *Известия РАН. Энергетика*. 2018. №4. С. 73-86.
8. Карташов Э.М., Ненахов Е.В. Динамическая термоупругость в проблеме теплового удара на основе обобщенного уравнения энергии. // *Тепловые процессы в технике*. 2018. Т.10. №7-8. С. 334-344.
9. Карташов Э.М., Ненахов Е.В. Тепловой удар и динамическая термоупругость на основе уравнений гиперболического типа. // *Тепловые процессы в технике*. 2018. Т.10. №3-4. С. 134-143.

10. Карташов Э.М., Ненахов Е.В. Гиперболические модели нестационарной теплопроводности. // Тепловые процессы в технике. 2018. Т. 10. N 1-2. С. 47-55.
11. Ненахов Е.В. Тепловой удар и динамическая термоупругость на основе уравнений гиперболического типа. // Седьмая Российская Национальная Конференция по Теплообмену РНКТ-7. 2018. Т.3. С. 262-266.
12. Ненахов Е.В. Новые соотношения для аналитических решений гиперболических моделей переноса. // Одиннадцатая международная теплофизическая школа информационно-сенсорные системы в теплофизических исследованиях. 2018. Т.1. С. 118-123.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

**Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., проф. Ломовского Виктора Андреевича.**

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

- 1) В главе 2 диссертации много внимания уделено аналитическим решениям гиперболических моделей теплопереноса на основе контурных интегралов Римана-Меллина. Сами по себе эти решения действительно новые и достаточно интересные, но в теории теплового удара они не используются. Возникает вопрос о возможности их использования непосредственно в моделях теплового удара.
- 2) Аналогично можно сказать о методе функций Грина во введении.
- 3) Объем диссертации 216 страниц, и он превышает среднестатистический объем кандидатской диссертации.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., доц. Валишина Анатолия Анатольевича.**

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

- 1) В обзорной части первой главы не упоминаются экспериментальные работы по теории теплового удара. Насколько они были бы интересными для соискателя?
- 2) Было бы интересно сопроводить хотя бы одним примером расчетные соотношения в главе 4.

## **Отзыв на диссертацию ведущей организации.**

Замечания по диссертации:

- 1) Проблема теплового удара – чисто теоретическое направление в математическом моделировании. Между тем, имеются научные публикации, посвященные экспериментальным исследованиям, например, по быстрому импульсному нагреву твердых тел, где приводятся экспериментальные кривые импульсных напряжений (см. Вовненко Н.В., Зимин Б.А., Судьенков Ю.В. Экспериментальные исследования термоупругих напряжений в тепло- и нетеплопроводящих твердых телах при субмикросекундной длительностях лазерного нагрева // ЖТФ, 2011, т. 81, вып. 6, с. 57–62). В диссертации упущен вопрос, связанный с сопоставлением известных экспериментальных данных с приведенными в работе расчетными (теоретическими), что имеет важное значение для подтверждения достоверности ее результатов.
- 2) Значительная часть исследований в диссертации уделена краевым задачам для уравнений гиперболического типа с обобщенными граничными условиями. Так как это новый класс задач, то в работе было бы уместно коснуться общих вопросов корректности их постановок.
- 3) В работе приведено решение комплексной задачи в модели теплового удара для массивного тела с внутренней цилиндрической полостью. Однако для завершенности исследований важно было бы рассмотреть случаи, когда форма полости отлична от цилиндрической, а также когда полость заполнена каким-либо веществом, находящимся в жидком или твердом состоянии.

**1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет».**

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой высшей и прикладной математики, Зуевой Галиной Альбертовной. Отзыв положительный. Замечание к автореферату:

- 1) отсутствует пояснение того, что внутренний точечный источник теплоты описан с помощью дельта-функции (функции Дирака) (ур. 22) и чем это обусловлено.

**2. Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук».**

Отзыв подписан доктором технических наук, доцентом, ведущим научным сотрудником лаборатории Теплофизика и волновые технологии Института энергетики и перспективных технологий, Кирсановым Юрием Анатольевичем. Отзыв положительный. Замечание к автореферату:

- 1) как показано в известных работах, в формуле для времени тепловой релаксации должна присутствовать скорость перемещения фронта температурной волны, а не скорость распространения теплоты.
- 2) интересно было бы изучить влияние на термоупругие напряжения не только тепловой релаксации, но и температурного демпфирования в рамках модели двухфазного запаздывания.
- 3) автор использует оригинальные термины «температурный нагрев, тепловой нагрев, нагрев средой», которые в теплофизике известны под названием «нагрев при граничных условиях 1-го, 2-го и 3-го рода».

**3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».**

Отзыв подписан доктором технических наук, профессором кафедры «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», Рудобаштой Станиславом Павловичем. Отзыв положительный. Замечаний к автореферату нет.

**4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет».**



Отзыв подписан доктором технических наук, доцентом, и.о. заведующий кафедрой «Физика», Кудиновым Игорем Васильевичем. Отзыв положительный. Замечаний к автореферату нет.

**5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».**

Отзыв подписан доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Прикладная математика», Кувыркиным Георгием Николаевичем, а также кандидатом физико-математических наук, ассистентом кафедры «Прикладная математика», Журавским Александром Владимировичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

- 1) В формуле (1) иной порядок индексов в дивергенции  $\sigma_{j,j}$ .
  - 2) В формуле (2) неверные индексы в левой части  $\varepsilon_{j,j}$ .
  - 3) Объём автореферата (20 стр.) не соответствует стандарту (16 стр.)
  - 4) Название публикации [1] указано с ошибкой. В Scopus входит переводная версия статьи.
  - 5) В главе 2 рассмотрена математическая модель обобщённой термомеханики, однако время релаксации определяется с помощью численного аналога параболического уравнения теплопроводности. Из автореферата не ясно, по какой причине возможно данное упрощение.
  - 6) Использование одноподобных, но различных по смыслу обозначений  $\beta$  и  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  в главе 4 в рамках одной модели (формулы 25-31) не желательно.
  - 7) На странице 4 присутствуют опечатки. В формуле (4) лишние запятые в индексах.
- 6. Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)».**

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором кафедры «Теоретическая, общая физика и технологии», Жорником Александром Ивановичем. Отзыв положительный. Замечаний к автореферату нет.

**7. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».**

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором кафедры «Высшая математика», Барановым Александром Викторовичем. Отзыв положительный. Замечаний к автореферату нет.

**8. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет».**

Отзыв подписан доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Трубопроводный транспорт», Стефанюк Екатериной Васильевной. Отзыв положительный. Замечаний к автореферату нет.

**9. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет".**

Отзыв подписан доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», Майниковой Ниной Филипповной. Отзыв положительный. Замечаний к автореферату нет.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области тем, затрагиваемых в диссертационном исследовании.**

Официальный оппонент, д. ф.-м. н., Ломовской Виктор Андреевич – профессор, заведующий лабораторией «Структурообразования в дисперсных системах» Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН. Область научных интересов – математическое моделирование динамических систем, физическая химия, прикладная механика. Автор более 129 научных работ, которые опубликованы в журналах, реферируемых в международных базах Scopus и Web of Science.

Официальный оппонент, д.ф.-м.н., Валишин Анатолий Анатольевич работает профессором кафедры «Вычислительная математика и математическая физика» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Область научных интересов – математическое моделирование динамических систем, численные методы решения уравнений математической физики, теплофизика. Автор свыше 115 научных трудов, которые опубликованы в журналах, реферируемых в международных базах Scopus и Web of Science.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» Институт физики и прикладной математики имеет широкий круг проводимых фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований в области математического моделирования физических процессов, а также в области прикладной математики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены следующие научные результаты:

- разработаны модельные представления теплофизических процессов переноса теплоты в твердых телах для уравнений гиперболического типа с учетом релаксационных явлений в модифицированном законе Фурье, вытекающего из соотношения Онзагера и вывод обобщенных граничных условий в дифференциальной и интегральной формах.
- предложены новые функциональные конструкции в аналитических решениях гиперболических моделей переноса с целью приложения полученных соотношений к исследованию проблемы теплового удара в терминах обобщенной термомеханики.
- введены определяющие соотношения динамической термоупругости: уравнения совместности в напряжениях, обобщающее соотношение Бельтрами-Митчелла для квазистатических случаев и уравнения «совместности» в перемещениях.

- разработаны новые математические модели теплового удара в рамках обобщенной термомеханики с учетом конечной скорости теплопереноса при различных режимах интенсивного нагрева и охлаждения границы твердого тела.
- доказано влияние эффекта связанности в моделях теплового удара и детально проанализированы конструкционные материалы, для которых эффектом связанности деформационного и температурного полей можно пренебречь.
- исследован ряд классических моделей теплового удара для массивного тела при различных режимах нагрева и действии внутреннего источника теплоты.
- доказана идентичность термической реакции бесконечной пластины при плоско-деформированном состоянии и упругого полупространства.
- предложено исследование эффекта тепловой релаксации поверхности твердого тела при температурном нагреве и выделение комплексного параметра, устанавливающего оправданными случаи скачкообразного изменения температуры границы тела.
- разработаны практические инженерные соотношения для оценки максимума температурных напряжений на основе операционных решений динамических задач теплового удара по скачкам напряжений на фронте термоупругой волны.
- предложена оценка параметра тепловой релаксации численным счетом для краевых задач на основе уравнения нестационарной теплопроводности гиперболического типа. Выведена конечно-разностная схема и невязка, которая дает необходимую аппроксимацию для гиперболического уравнения. Определены условия устойчивости для явной схемы.
- разработан комплекс программ, который необходим для проведения численных экспериментов и анализа на основе полученных аналитических решений краевых задач динамической термоупругости.

**Теоретическая значимость** и новые эффективные результаты исследования обоснованы тем, что:

- изложена новая концепция математического моделирования теплового удара в условиях локально-неравновесного процесса переноса теплоты на основе обобщенной теории, учитывающих члены тепловой инерции как в уравнении нестационарной теплопроводности, так и в граничных условиях задачи.
- раскрыты новые закономерности протекания исследуемых процессов.
- изучены классические модели теплового удара для широкого класса теплового воздействия на твердое тело.
- доказана теорема, что для гиперболических моделей имеет место иная (обобщенная) форма записи граничных условий второго и третьего рода.
- доказана теорема, что аналитические решения гиперболических моделей переноса могут быть представлены в двух тождественных функциональных формах.

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

- разработаны инженерные оценки для максимума температурных напряжений, которые позволяют получить важную информацию об особенностях теплового и термонапряженного состояния, возникающего в твердых телах при интенсивном нагревании и охлаждении.
- создан комплекс программ, который позволяет проводить численные эксперименты и анализ исследуемых в диссертации математических моделей.

**Достоверность** полученных результатов обеспечивается:

- соответствием рассматриваемых моделей и их аналитических решений реальным теплофизическим процессам, протекающим в конкретных технических устройствах.
- согласованностью полученных результатов с результатами других авторов в частных и предельных случаях.
- корректностью применения и строгостью математического аппарата.
- многочисленными численными экспериментами.

**Личный вклад.** Все положения диссертации, выносимые на защиту, получены соискателем самостоятельно. Соискатель был полностью вовлечен во все этапы процесса исследования, сформулировал постановки задач, выполнил анализ, разработал решение, провел численные эксперименты, оценил корректность поставленных задач и полученных решений, подготовил основные публикации и участвовал в дальнейшей апробации.

Диссертационный совет считает, что диссертационная работа Ненахова Евгения Валентиновича является самостоятельно выполненной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены важные результаты в области разработки математических моделей, алгоритмов решения задач оптимизации, вычислительных алгоритмов и программных комплексов. Диссертация удовлетворяет пункту 9 постановления Правительства РФ №842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней».

На заседании 30 декабря 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Ненахову Е. В. ученую степень кандидата физико-математических наук за решение научных задач в области математического моделирования протекания теплофизических процессов и получение новых результатов в термомеханике.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 23, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета  
24.2.327.02, д.ф.-м.н., доцент



А. В. Наумов

Ученый секретарь диссертационного  
совета 24.2.327.02, к.ф.-м.н.



В. А. Рассказова



30 декабря 2021 г.