**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.331.05,**

**СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО**

**БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО**

**ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**

**ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА**

**(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

**(МГТУ им. Н.Э. Баумана),**

**ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ**

**КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 17.12.2024 г. № \_\_\_

О присуждении **Соколову Андрею Александровичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Математические модели нелокальной термоупругости и их численная реализация» по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 2 июля 2024 года (протокол заседания № 8) диссертационным советом 24.2.331.05, созданным на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана, Министерство образования и науки РФ, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр.1, приказ №75/нк от 15 февраля 2013 г.

Соискатель Соколов Андрей Александрович, 1997 года рождения, обучается на четвёртом курсе аспирантуры на кафедре прикладной математики МГТУ им. Н.Э. Баумана. Работает в должности ассистента кафедры прикладной математики МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Официальные оппоненты:**

**Бураго Николай Георгиевич,** доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского Российской академии наук;

**Савенков Евгений Борисович,** доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук.

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», механико-математический факультет, в своём положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой механики композитов Владимиром Ивановичем Горбачевым, доктором физико-математических наук, профессором, указала, что диссертационная работа Соколова Андрея Александровича на тему «Математические модели нелокальной термоупругости и их численная реализация» является завершенной научно-квалификационной работой, которая по объему, актуальности, степени научной новизны, а также теоретической и практической значимости полученных результатов полностью удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Положительное заключение содержит замечания:

1. Во введении работы фигурирует термин «структурно-чувствительные материалы». Было бы уместно более чётко определить это понятие, так как не до конца ясно, какой класс материалов следует называть структурно-чувствительным.

2. В определении интегрального нелокального оператора (1.1) фигурируют следующие параметры: весовые параметры  и , функция нелокального влияния  и область нелокального влияния , которые в дальнейшем становятся частью уравнений теплопроводности и равновесия. Какие из этих параметров являются материальными и могут быть установлены из экспериментов?

**Соискатель** имеет 5 опубликованных работ по теме диссертации в изданиях, индексируемых в библиографических базах данных Scopus и Web of Science, либо включенных в перечень ВАК РФ.

**Наиболее значительные работы по теме диссертации:**

1. Kuvyrkin G. N., Savelyeva I. Y., Sokolov A. A. Features of the software implementation of the numerical solution of stationary heat equation taking into account the effects of nonlocal finite element method // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1479. No. 1. (0,4 п.л./0,2 п.л.)

2. Kuvyrkin G. N., Savelyeva I. Y., Sokolov A. A. 2D nonlocal elasticity: In vestigation of stress and strain fields in complex shape regions // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. 2023. Vol. 103. No. 3. (0,6 п.л./0,3 п.л.)

3. Кувыркин Г. Н., Соколов А. А. Принцип Сен-Венана в задачах нело­кальной теории упругости // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2023. Т. 109. № 4. С. 4—17. (0,55 п.л./0,3 п.л.)

4. Mathematical modeling of insulating coating of thermal conductivity in cluding body`s own radiation and non-local spatial effects / A. A. Sokolov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2024. Vol. 2817. No. 1. P. 12—28. (0,35 п.л./0,1 п.л.)

5. Кувыркин Г. Н., Соколов А. А. Решение задачи о напряженно-деформированном состоянии пластины с эллиптическим вырезом при механических и температурных нагружениях в нелокальной постановке // Прикладная механика и техническая физика. 2024. № 4. С. 193—203. (0,4 п.л./0,2 п.л.)

В работе [1] Соколовым А.А. разработан алгоритм решения двумерного интегро-дифференциального уравнения нелокальной теплопроводности, проанализирована алгоритмическая сложность и решена задача теплопроводности о прохождении теплового потока сквозь прямоугольную пластину. В работе [2] Соколов А.А. рассмотрел задачу нелокальной упругости, в которой изучал особенности решений на области со ступенчатым переходом, где были выявлены особенности, связанные с полем деформации в окрестности концентратора решений. В работе [3] Соколовым А.А. изучена применимость принципа Сен-Венана к модели нелокальной упругости, в работе [4] — модель двумерной нелокальной теплопроводности с радиационным излучением на границе, а в работе [5] — нелокальная задача Кирша с обобщением на эллиптические вырезы; также в данной работе был проведён анализ температурных напряжений возникающих на той же области при прохождении через неё теплового потока.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:**

1. … (пока что нет отзывов)

2. …

3. …

Все отзывы положительные. Отзывы содержат следующие замечания.

1. … (пока что нет отзывов)

2. …

3. …

Выбор оппонентомдоктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики имени А.Ю. Ишлинского Российской академии наукБураго Николая Георгиевича обусловлен его достижениями в разработке аналитических и численных методов и алгоритмов решения задач механики деформируемого твердого тела.

Имеет 49 публикаций за последние 5 лет, из них 10 – в журналах, входящих в Web of Science или Scopus, 9 – в журналах, входящих в текущий перечень ВАК РФ, 27 – по теме диссертации.

1.   Явно-неявные схемы расчёта динамики упруговязкопластических сред с малым временем релаксации / Бураго Н. Г. [и др.] // Дифференциальные уравнения. 2023. Т. 59, № 6. С. 803-813.

2.   Multi-mode Model and Calculation Method for Fatigue Damage Development / Burago N. G. [et al.] // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2021. Vol. 217. P. 157-170.

3.   Burago N. G., Nikitin I. S. Mathematical Model and Algorithm for Calculating Pressing and Sintering // Mathematical Models and Computer Simulations. 2019. Vol. 11, No. 5. P. 731-739.

Выбор оппонентом доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника федерального исследовательского центра Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук, Савенкова Евгения Борисовича связан с тем, что он является известным специалистом в области математического моделирования, а также разработки и применения численных методов для решения широкого класса задач механики сплошной среды.

Имеет 21 публикаций за последние 5 лет, из них 15 – в журналах, входящих в Web of Science или Scopus, 8 – в журналах, входящих в текущий перечень ВАК РФ, 11 – по теме диссертации.

1.   On the Theory of Methane Hydrate Decomposition in a One-Dimensional Model in Porous Sediments: Numerical Study / Koldoba A.V. [et al.] // Mathematics, 2023, 11(2), 341.

2.   Колдоба А.В., Скалько Ю.И. Численное моделирование распространения прямоточных волн внутрипластового горения в инверсном режиме // Компьютерные исследования и моделирование. 2020. Т. 12. № 5. С. 993-1006.

3.   Model, calculation method and visual representation of residual stresses in laser sintering of metal powders / Koldoba A.V. [et al.] // Scientific Visualization. 2019. Vol. 11, No. 5. P. 26-34.

Выбор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» в качестве ведущей организации обусловлен тем, что данный университет является одним из лидеров в стране в области математического моделирования, численных методов и вычислительных технологий, представлен следующими ведущими специалистами.

Доктор физико-математических наук, профессор Никабадзе Михаил Ушангиевич является специалистом в области неклассических моделей микронеоднородных сред (микрополярные среды, наноструктуры).

Доктор физико-математических наук, профессор …

Доктор физико-математических наук, профессор …

Доктор физико-математических наук, профессор …

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** определяющие соотношения новых математических моделей, описывающих термомеханические процессы с учетом пространственной и временной нелокальностей в структурно-чувствительных материалах, в том числе соотношения двойственной вариационной формы математической модели процессов стационарной теплопроводности в области произвольной формы с учетом пространственных нелокальных эффектов;

**исследованы** аналитические решения одномерных задач стационарной теплопроводности для неограниченной в своей плоскости пластины и деформировании цилиндрического стержня с учетом пространственной нелокальности;

**получены** оценки, в том числе двусторонние, эффективных коэффициентов теплопроводности, упругих модулей и температурного коэффициента линейного расширения композитов, позволившие учесть тип и объемную концентрацию армирующих включений, особенности теплового контакта и теплопереноса между включениями и матрицей, наличие промежуточного слоя, взаимное расположение и возможную анизотропию включений;

разработанные интегральная и вариационная форма математической модели установившейся теплопроводности **позволили оценить** целесообразность использования конкретных материалов в элементах конструкций, надежное функционирование которых связано с температурным состоянием материала;

**разработаны** одномерные и двумерные численные алгоритмы нелокального метода конечных элементов для исследования полей температуры, деформации и напряжений в структурно-чувствительном материале;

**разработаны** численные алгоритмы решения уравнения стационарной теплопроводности и равновесия в нелокальных постановках на основе метода конечных элементов для исследования полей температуры, плотности теплового потока, перемещений, деформации и напряжений; предложенные алгоритмы адаптированы для вычислений на многопроцессорных вычислительных машинах с общей и распределённой памятью;

**разработан** программный комплекс NonLocFEM, в рамках которого были реализованы все предложенные в работе алгоритмы, в частности, алгоритмы ассемблирования матриц теплопроводности и жёсткости; алгоритмы аппроксимации области нелокального влияния, использующие k-d деревья; алгоритмы балансировки данных; алгоритмы предобуславливания и решения систем линейных алгебраических уравнений; и др.;

**исследованы** два параметрических семейства функций нелокального влияния, проведён сравнительный анализ влияния параметров функций на отклонения решений относительно классических;

**исследованы** принципы Сен-Венана и стабильности тепловых потоков в контексте нелокальных постановок задач, показано, что вдали от точек приложения нагружений, кривые напряжения и плотности теплового потока сливаются в единые поверхности, которые характеризуются наличием кромочного эффекта на свободных от условий границах;

**исследованы** решения в областях с концентраторами полей напряжения и плотности теплового потока на примере решения задач о растяжении Т-образной пластины и задачи Кирша с обобщением на эллиптические вырезы; полученные решения демонстрируют снижение роли концентраторов в решениях;

**исследованы** методы ускорения сходимости метода сопряжённых градиентов при решении систем алгебраических уравнений, полученных после дискретизации уравнений стационарной теплопроводности и равновесия в нелокальных постановках при помощи метода конечных элементов.

**Теоретическая значимость исследования обоснована** тем, что разработана иерархия новых математических моделей, описывающих термомеханические процессы с учетом пространственной и временной нелокальностей в структурно-чувствительных материалах, в том числе новые двойственные вариационные формы математических моделей процессов стационарной теплопроводности и термоупругости в области произвольной формы с учетом пространственных нелокальных эффектов. Теоретический интерес имеют полученные аналитические решения одномерных задач стационарной теплопроводности для неограниченной в своей плоскости пластины и деформировании цилиндрического стержня с учетом пространственной нелокальности.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для** **практики** состоит в разработанных алгоритмах ассемблирования матриц теплопроводности и жёсткости с учётом пространственной нелокальности, их адаптации под многопроцессорные вычислительные системы и реализацию в виде собственного программного комплекса, который позволяет проводить расчёты на неструктурированных сетках, образующих области произвольной формы. Программный комплекс обрабатывает структурированные запросы, что даёт широкие возможности пользователю для настройки параметров модели и расчёта. Модульная структура программного комплекса позволяет добавлять новые типы расчётов в программу, не меняя общей структуры программы.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила следующее:

* результаты получены с помощью использования строгого математического аппарата и согласуются с известными результатами других авторов;
* работоспособность предложенных методов подтверждена результатами математического моделирования.

**Личный вклад соискателя.** Все исследования, изложенные в диссертации, выполнены соискателем лично в процессе научной деятельности. Из совместных публикаций включен только тот материал, который принадлежит соискателю.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие **критические замечания**:

…

Соискатель Соколов А.А. …на задаваемые ей в ходе заседания вопросы.

На заседании 17 декабря 2024 г. **диссертационный совет принял решение**…

При проведении тайного голосования **диссертационный совет** в количестве … человек, из них … докторов наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, участвовавших в заседании, из …. человек, входящих в состав совета, **проголосовал: за** – …, **против** – …, **недействительных бюллетеней** ….

Председатель

диссертационного совета, Кувыркин

д.т.н., профессор Георгий Николаевич

Учёный секретарь

диссертационного совета, Аттетков

к.т.н., доцент Александр Владимирович

«17» декабря 2024 г.