

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию *Кудаевой Фатимат Хусейновны*

«Математическое моделирование фазовых переходов при низкотемпературных воздействиях на биоткани»

по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

В настоящее время наблюдается возрастающий интерес к разработке математических моделей и численных методов, которые позволяют формализовать и прогнозировать фазовые переходы и другие критические явления в биотканях при низкотемпературных воздействиях. Актуальность темы диссертации «Математическое моделирование фазовых переходов при низкотемпературных воздействиях на биоткани» обусловлена современными вызовами в области биомедицины, биофизики и математического моделирования сложных биологических процессов. Современные вычислительные технологии и математические методы служат ключевым инструментом для подробного исследования биофизических процессов, что делает выбранную тему актуальной и востребованной как в теоретической, так и в прикладной науке.

Научна новизна диссертации:

Разработка оригинальной математической модели для описания фазовых переходов в биотканях при низкотемпературных воздействиях.

Внедрение новых алгоритмов, обеспечивающих повышение точности и устойчивости расчётов в сложных граничных задачах с подвижной границей типа Стефана.

Создание и верификация программного комплекса, позволяющего эффективно моделировать процессы фазового перехода в биологических системах.

Анализ специфических особенностей биотканей и учёт биофизических характеристик в моделях, что увеличивает их адекватность и применимость в медицинских криотехнологиях.

Предложение методик для интеграции математических моделей в практические задачи диагностики и криотерапии.

Выполнение сравнительных исследований с существующими моделями и выявление преимуществ предложенного подхода.

Теоретические результаты, которые расширяют понимание поведения биотканей при фазовых переходах и открывают новые направления для исследований.

Результаты демонстрируют как теоретический, так и прикладной вклад работы в науку, что важно для оценки научной новизны диссертации.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации обеспечивается математической корректностью поставленных задач, применением к ним классических математических методов, которые строго обоснованы в научной литературе, строгими математическими доказательствами сформулированных теорем, а также результатами проведенных вычислительных экспериментов.

В работе продемонстрирована системность и последовательность вывода научных результатов, что повышает доверие к сформулированным заключениям и делает их применимыми в дальнейшем научном и практическом контексте.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях, семинарах, форуме. Имеются свидетельства программ для ЭВМ.

Практическая ценность полученных результатов диссертации заключается в следующем:

Разработанные математические модели и численные методы обеспечивают эффективное и точное моделирование фазовых переходов в биотканях при низкотемпературных воздействиях, что способствует совершенствованию научного инструментария в области криомедицины и биофизики.

Созданные программные комплексы позволяют применять результаты моделирования для прогноза и оптимизации процессов замораживания и оттаивания биологических тканей, что важно для разработки методов криоконсервации и криотерапии.

Полученные данные и методики могут быть использованы в диагностике состояния биотканей, планировании лечебных процедур и разработке технологий низкотемпературного лечения, что имеет непосредственное прикладное значение в клинической практике и биомедицинских исследованиях.

Полученные результаты будут способствовать внедрению новых медицинских технологий и повышению эффективности существующих терапевтических методов.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Диссертация Кудаевой Ф.Х. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложения.

Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования, формулируется цель и основные задачи работы, описывается предлагаемый автором подход к решению поставленных задач, характеризуется степень новизны полученных результатов и их апробация. Кроме того, дается краткое изложение содержания диссертации.

В первой главе выполнен анализ проблем криоохлаждения биологических тканей, выявлены причины, тенденции, перспективы и предложена формальная постановка задачи исследования тепловых процессов воздействия на биологические ткани низкими температурами.

Во второй главе построена модель со свободными границами для описания динамики нестационарного температурного поля, а также фронтов криовоздействия и замораживания в биоткани. Задача со свободными границами в данной главе сведена к каноническому виду. Сформулирована и доказана теорема единственности задачи Стефана для поля изотерм при низкотемпературном воздействии на биологические ткани.

Третья глава содержит построение и исследование одномерных математических моделей при деструкции биотканей сферическими, полусферическими и достаточно протяженными плоскими аппликаторами.

Применяя разработанные программные продукты в работе проведены расчеты, а результаты представлены на графиках. Разработанные проблемно-ориентированные программные комплексы подтверждены свидетельствами Роспатента.

В данной главе также введены определения обобщенного решения, субрешения и суперрешения задач со свободными границами. Получены условия существования и единственности обобщенного решения вариационной постановки задачи типа Стефана со свободной границей для поля изотерм.

Четвертая глава содержит построение и исследование двумерных математических моделей, возникающих при моделировании низкотемпературного воздействия на биологические ткани. Двумерные задачи приведены к каноническому виду. Стационарные задачи Стефана сформулированы в цилиндрических и сферических

системах координатах. В данной главе также выполнено асимптотическое интегрирование двумерных осесимметричных стационарных и нестационарных задач криодеструкции.

В пятой главе представлены методы идентификации теплофизических параметров многослойной биоткани при низкотемпературном воздействии. Построена математическая модель коэффициентов теплопроводности многослойной среды, анализ корректности которой основан на принципе сохранения общего количества вещества или параметра во всех слоях биоткани.

Для улучшения эффективности математического моделирования в данной главе предложен метод, основанный на использовании комплексных статусных функций. Проведенный автором анализ показал, что применение статусных функций помогает снижению шума при низкотемпературных воздействиях и повышает точность диагностики, эффективность лечения и способствует развитию биологических исследований.

Для фильтрации шума Кудасовой Ф.Х. в данной главе также использованы: скользящее среднее, медианный фильтр, фильтр Калмана, методы машинного обучения и проведен сравнительный анализ методов фильтрации шума при низкотемпературном воздействии на эпидермис биоткани на границе раздела фаз по эффективности, по ограничениям, по вычислительным затратам, по применимости.

Список литературы содержит работы как классиков, так и современных исследователей по исследуемой проблеме в диссертации.

Значимость результатов диссертации для науки заключается в следующем:

Проведён глубокий анализ современной научной литературы и источников по математическому моделированию фазовых переходов в биотканях, что позволило выявить существующие пробелы и направления для развития теории и практики.

В работе применены современные методы математического моделирования и численные алгоритмы, которые адаптированы и усовершенствованы с учётом специфики биологических систем и условий низкотемпературных воздействий.

Полученные результаты расширяют теоретические представления о фазовых переходах в сложных биологических средах, что способствует развитию фундаментальных основ биофизики и прикладной математики.

Предложенные методы и модели могут быть использованы как базис для дальнейших исследований, а также для создания новых расчётных программных комплексов и экспериментальных методик в области биомедицины и криомедицины.

Таким образом, работа вносит весомый вклад в научное понимание процессов, лежащих в основе фазовых переходов в биологических тканях, и обеспечивает перспективы для развития междисциплинарных исследований.

Замечания.

1. В тексте диссертации встречаются стилистические ошибки, присутствуют мелкие недостатки, связанные с детализацией некоторых технических моментов и терминологией, которые не влияют на обоснованность и результаты исследования.
2. В работе подробно рассмотрены расчеты коэффициента теплопроводности эпидермиса при низкотемпературном воздействии, что является сильной стороной исследования. Вместе с тем, отсутствие анализа и построений аналогичных параметров для дермы и гиподермы снижает полноту представления о тепловом поведении кожи в целом. Понимая сложность их структуры, рекомендуется в дальнейшем исследовании уделить большое внимание данным слоям, а также возможным необратимым процессам при низкотемпературном воздействии и учесть влияние кровотока, что повысит практическую значимость работы.
3. Автор представляет интересный подход к оптимизации фильтрации шума с использованием комплексных статусных функций, что является перспективным направлением. Для еще более полной оценки эффективности метода было бы неплохо в будущих исследованиях расширить сравнительный анализ с существующими подходами, а также дополнительно осветить особенности взаимовлияния исследуемых процессов.
4. В диссертационной работе сведения об используемых существующих вычислительных пакетах и программных средствах моделирования фазовых переходов изложены недостаточно подробно. Было бы полезно привести сравнение с альтернативными средствами и с собственными разработками.

5. Для укрепления теоретической основы исследования и повышения практической значимости результатов было бы полезно более подробно исследовать устойчивость решений задачи Коши относительно вариаций начальных условий.

Отмеченные замечания не снижают качества исследований и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Заключение.

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных научных результатов диссертаций по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки), в 4-х журналах, индексируемых в международных базах Web of Science, Scopus и приравниваемые к изданиям из Перечня ВАК, в 2-х монографиях, в 11 рецензируемых научных журналах ВАК РФ, а также в межвузовских сборниках, сборниках трудов конференций, и в официальных изданиях. Имеет 6 свидетельств на программы для ЭВМ, выданные Федеральной службой по интеллектуальной собственности (Роспатент).

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации, характеризуют результаты проведенных исследований.

Считаю, что диссертационная работа *«Математическое моделирование фазовых переходов при низкотемпературных воздействиях на биоткани»* соответствует требованиям, установленным в пп.9-14 Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. №842 (ред. от 25.01.2024), предъявляемым к докторским диссертациям и является законченной научно-квалификационной работой, ее автор, *Кудаева Фатимат Хусейновна*, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор,

профессор кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования

института инженерных и цифровых технологий,

С.М.

26.11.
2025г.

лично подписать
удостоверяю
Специалист отдела
кадрового обеспечения
Управления
организационного и
кадрового обеспечения

Степанова С.М.

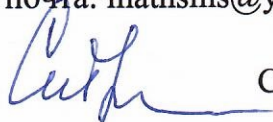
Иван Иванович
26.11.2025г.



ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Адрес организации: 308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85

Телефон: +79102437771, эл. почта: mathsms@yandex.ru



Ситник Сергей Михайлович

Дата:

26.11.2025 г.