

Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу Мороз Любови Игоревны
«Дробно-дифференциальный подход к численному моделированию
динамических откликов сегнетоэлектриков как фрактальных физических систем»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы диссертационного исследования

В практике междисциплинарных исследований особое место занимает численное моделирование в связи с возможностями проведения анализа характеристик состояния трудноформализуемых систем на основе применения технологии вычислительного эксперимента и средств компьютерной имитации. В последние десятилетия развитие подходов к математическому моделированию целого класса объектов происходит при активном привлечении дробно-дифференциального аппарата. Нецелые производные нашли свое применение в разнообразных областях науки и техники, таких как электромагнетизм, вязкоупругость, механика жидкости, электрохимия, динамика биологических популяций, оптика, обработка сигналов и др. Разработка математических моделей процессов и явлений различной природы часто приводит к дифференциальным задачам, включающим специальные функции математической физики, а также их расширения и обобщения по одной или нескольким переменным. Кроме того, многие прикладные задачи гидродинамики, квантовой физики, физики твердого тела, электричества описываются с помощью дифференциальных уравнений в частных производных дробного порядка. Стоит также отметить, что производные нецелого порядка часто служат для описания процессов, происходящих во фрактальных структурах со сложной топологией и в динамических системах, проявляющих эффекты памяти.

Построение аналитических решений для дифференциальных уравнений, содержащих дробные производные, в условиях конкретных приложений часто встречает серьезные затруднения. Поэтому во многих практических ситуациях оправданным является применение приближенных методов, основанных на аппроксимациях производных дробного порядка, в частности, на основе конечно-разностного подхода. Специфика построения конечно-разностных схем для дробно-дифференциальных задач заключается в получении удовлетворительного порядка аппроксимации и снижении вычислительных затрат на достаточно ресурсоемкие вычисления.

Диссертационная работа Л.И. Мороз посвящена разработке методов и средств реализации дробно-дифференциальных моделей нестационарных откликов конденсированных сред. В качестве объекта математического моделирования соискателем выбраны сегнетоэлектрические материалы, для которых диагностированы свойства фрактальности и эффекты памяти. Указанные физические системы представляют интерес с точки зрения прикладной математики, поскольку многие протекающие в них процессы формализуются с помощью дифференциального аппарата. С другой стороны, многочисленные области применения этих материалов (акустика, оптика,

микроэлектроника) требуют развития фундаментальных представлений о законах и механизмах формирования откликов в неравновесных внешних условиях. Поэтому направление исследований, связанное с развитием методов математического моделирования, разработкой вычислительных схем и программных решений для анализа фрактальных физических систем с памятью в приложении к задачам прогнозирования характеристик переключения поляризации сегнетоэлектриков, несомненно, представляется актуальным.

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа изложена на 204 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы и приложения.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели исследования и положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе диссертации представлены основные концепции дробно-дифференциального исчисления, методы численной реализации и примеры применения дробно-дифференциального подхода в практике моделирования динамических систем – дан обзор современного состояния проблемы.

Во второй главе приведены математические постановки задач – описаны дробно-дифференциальные модели формирования нестационарных поляризационных откликов сегнетоэлектриков в режимах инжекции, нагрева и внешнего полевого воздействия. Несмотря на специфику предметной области, автор в заключении каждого раздела приводит обобщенные математические постановки задач моделирования, относя их к категориям – начальная задача для дробно-дифференциального уравнения и начальная-граничная задача для дробно-дифференциального уравнения с частными производными.

В третьей главе строятся вычислительные схемы и алгоритмы для введенных классов задач. Конечно-разностные схемы решения дробно-дифференциальных уравнений встраиваются в общие алгоритмы реализации моделей физических систем.

Четвертая глава содержит описание системы компьютерного моделирования и результаты ее тестирования. Внимание автор отводит вопросам численного исследования конечно-разностных схем. В этой главе проведены интерпретация и анализ данных вычислительных экспериментов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций сформулированных в диссертации, их достоверность

Научные положения, приведенные в диссертации Л.И. Мороз, являются научно обоснованными. В тексте диссертации представлен междисциплинарный анализ достижений и теоретических положений отечественных и зарубежных авторов, включающий базовые понятия дробно-дифференциального исчисления, известные дробно-дифференциальные модели динамических систем и подходы к построению конечно-разностных схем для их реализации, примеры применения теории дробного дифференцирования в приложении к описанию сегнетоэлектрических явлений.

В работе прослеживается позиционирование собственных результатов автора в общей системе знаний, сложившейся в данной предметной области. Обоснованность положений, выводов и рекомендаций также достигается за счет применения фундаментальных основ при формализации моделей, верификации алгоритмов с использованием тестовых задач, проверки численной сходимости схем, интерпретации данных вычислительных экспериментов в сравнении с данными физических экспериментов. Достоверность научных результатов Л.И. Мороз гарантируется использованием апробированных конечно-разностных методов решения дробно-дифференциальных уравнений, использованием лицензионных программных продуктов, положительными результатами тестирования программного приложения и проверки адекватности результатов моделирования.

Содержание диссертации в достаточной степени отражено в научных публикациях автора, в числе которых 3 работы, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 6 – в изданиях, цитируемых международными базами Web of Science и Scopus. Автором получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты диссертации основательно апробированы на региональных, всероссийских и международных конференциях.

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов

Можно отметить ряд оригинальных результатов, полученных соискателем. Существенно, что новые результаты присутствуют одновременно в трех областях: математическом моделировании, численных методах и комплексах программ.

1. Разработан и реализован гибридный подход к моделированию электронно-индуцированного переключения поляризации сегнетоэлектриков на основе синтеза метода Монте-Карло и конечно-разностной схемы в концепции дробной производной Капуто.

2. Предложена и реализована эрдитарная модификация модели пироотклика сегнетоэлектрика в условиях интенсивного нагрева.

3. Предложена дробно-дифференциальная модификация термодинамической модели Ландау – Гинзбурга – Девоншира – Халатникова, позволяющей описать пространственно-временное распределение поляризации и гистерезисную зависимость поляризации от приложенного поля.

4. Разработан и реализован алгоритм для численной реализации модели нелинейной аномальной диффузии на основе комбинации итерационного подхода и неявной конечно-разностной схемы для решения полулинейного дробно-дифференциального уравнения с частными производными Капуто.

5. Разработаны прикладные программы в ППП Matlab, интегрированные в комплексе, ориентированный на расчет и визуализацию нестационарных характеристик поляризационных откликов сегнетоэлектриков.

Значимость результатов для науки и практики

Научная значимость диссертационной работы заключается в развитии методов и средств численного моделирования динамических процессов в сложных физических системах на основе дробно-дифференциального подхода. Автором предложены

модификации математических моделей, вычислительные схемы, алгоритмы и программные реализации, которые позволяют проводить оценку поляризационных откликов типичных сегнетоэлектриков при внешних воздействиях. Теоретическая ценность результата заключается в развитии фундаментальных представлений и создании математического аппарата для моделирования динамических откликов сложных физических систем. Кроме того, результаты обладают и практической значимостью – предложенные вычислительные средства могут быть эффективно использованы в экспериментальных методиках для прогнозирования поведения таких материалов.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. В главе 1 дан подробный обзор численных методов решения дробно-дифференциальных уравнений. Акцент сделан на конечно-разностных методах. При этом остается за кадром такой мощный инструментарий, как методы Монте-Карло. Вместе с тем, учитывая, что в силу нелокальности дробно-дифференциальных операторов матрица дискретного аналога теряет свойство разреженности, методы случайного блуждания являются весомой альтернативой конечно-разностному подходу.

2. В разделе 2.3 было бы желательно видеть более акцентированное обоснование математической модели. Сосредоточение инжекционного заряда в одной плоскости, кусочно-линейная зависимость электростатического потенциала, клиновидная форма доменов - эти допущения не являются очевидными.

3. Было бы желательно проиллюстрировать фрактальный характер доменной динамики микроструктурным анализом. Несмотря на то, что в диссертации используются термодинамические (макроскопические) модели, взгляд на микроструктурные процессы был бы полезен. При этом надо отметить, что вопрос совмещения макро и микро масштабов является наиболее трудным при моделировании аномальных процессов, и его полное решение выходит за рамки диссертационного исследования.

4. При введении в модель дробно-дифференциальных операторов автор решает проблему дробных размерностей путем введения нормированных переменных. Это приводит к появлению в коэффициентах уравнений некоторых характерных параметров времени и расстояния. Вопрос об интерпретируемости этих величин остается открытым.

5. В разделе 2.3.3 представлена обобщенная дробно-дифференциальная модель, содержащая дробные производные, как по времени, так и по пространству. Возможно, стоило бы отразить влияние дробной производной по пространству в вычислительных экспериментах раздела 4.3.5.

6. По диссертации имеется также ряд замечаний редакционного характера, на которые указано автору.


Общее заключение

Несмотря на приведенные замечания, можно заключить, что диссертация Мороз Любови Игоревны «Дробно-дифференциальный подход к численному моделированию динамических откликов сегнетоэлектриков как фрактальных физических систем» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой предложены и верифицированы новые вычислительные методики и

программные средства для математического моделирования динамических откликов сегнетоэлектриков как фрактальных физических систем. Тематика и результаты выполненных в диссертации исследований соответствуют паспорту специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными, достоверными и имеющими существенное теоретическое и практическое значение. В автореферате и в публикациях соискателя в полной мере отражено содержание диссертации, а также наиболее существенные положения, выводы и рекомендации.

В целом представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Мороз Любовь Игоревна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент

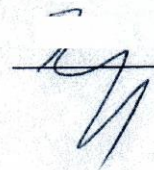
 Ревизников Дмитрий Леонидович
«29» 11 2021 г.

Ревизников Дмитрий Леонидович,
профессор кафедры «Вычислительная математика и программирование»,
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», доктор физико-математических наук, профессор,
E-mail: reviznikov@mai.ru
Тел. +7 (499) 1584894
125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

Подпись профессора Д.Л. Ревизникова
заверяю.

Директор дирекции института №8
«Информационные технологии и прикладная
математика» МАИ



 Крылов С.С.

СОГЛАСИЕ НА ОБРАБОТКУ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Я, Ревизников Дмитрий Леонидович, официальный оппонент по диссертации Мороз Любови Игоревны на тему «Дробно-дифференциальный подход к численному моделированию динамических откликов сегнетоэлектриков как фрактальных физических систем» в соответствии с требованиями Федерального закона от 27.07.2006. №152-ФЗ «О персональных данных», настоящим даю согласие Федеральному государственному бюджетному учреждению науки Институту автоматки и процессов управления ДВО РАН, место нахождения: 690041, г. Владивосток, ул. Радио, д. 5, на базе которого создан диссертационный совет Д 24.1.027.01, на обработку моих персональных данных, связанных с работой диссертационного совета.

 Ревизников Дмитрий Леонидович
«2» 11 2021 г.