

О Т З Ы В

научного руководителя на диссертационную работу

Белевцова Никиты Сергеевича

«Мультипольные алгоритмы для многомерных дробно-дифференциальных моделей диффузионных и волновых процессов»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

Белевцов Никита Сергеевич, 1995 г. рождения, в 2019 г. с отличием окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика. С 2019 г. обучается в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (с 2022 г. – ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий») на кафедре высокопроизводительных вычислительных технологий и систем по направлению подготовки 09.06.01. Информатика и вычислительная техника, по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. В настоящее время является аспирантом четвертого года обучения.

Научной работой Белевцов Н.С. начал заниматься с первого курса бакалавриата. Основным направлением его научных исследований стало математическое моделирование нелокальных процессов с использованием аппарата дробного интегродифференцирования. Это позволило уже в магистратуре начать работу по теме диссертационного исследования, которая в дальнейшем была им успешно продолжена в аспирантуре.

Диссертационная работа Белевцова Н.С. посвящена развитию мультипольного подхода к компьютерному моделированию аномальных диффузионных и волновых процессов, математические модели которых представляют собой многомерные дробно-дифференциальные уравнения с потенциалом Рисса или дробной степенью оператора Лапласа. Математические модели такого типа возникают, в частности, при исследовании процессов фильтрации и распространения упругих волн в пористых средах с естественной трещиноватостью, актуальных для нефтегазовой отрасли, при исследовании распространения электромагнитных волн в средах со степенной пространственной дисперсией (таких как неоднородная плазма или металлы при низкой температуре), исследовании аномальной диффузии в турбулентных потоках. В многомерном случае пространственная нелокальность модели при ее численной реализации на основе традиционных численных схем приводит к громадному количеству вычислительных операций. В результате проведение компьютерного моделирования становится весьма затратным как по времени вычислений, так и по вычислительным ресурсам. В связи с этим разработка высокоэффективных численных алгоритмов компьютерного моделирования диффузионных и волновых процессов на основе нелокальных моделей указанного класса является **актуальной** задачей.

В диссертационной работе на основе мультипольного подхода Белевцовым Н.С. предложен и теоретически обоснован ряд последовательных и параллельных численных алгоритмов, которые могут быть эффективно использованы для компьютерного моделирования (в многомерной постановке) диффузионных и волновых процессов в средах с пространственной нелокальностью.

Научная новизна полученных результатов обуславливается тем, что в работе впервые мультипольный подход применен к разработке численных алгоритмов исследования многомерных дробно-дифференциальных математических моделей. В работе получен целый ряд новых научных результатов, среди которых, как наиболее значимые, выделю следующие. 1) Разработан алгоритм факторизации фундаментальных решений рассматриваемых уравнений, записываемых через функции Фокса, который дает возможность построения мультипольных алгоритмов для широкого класса дробно-дифференциальных математических моделей. 2) Предложен способ компьютерного моделирования нелокальных процессов в средах с включениями на основе мультипольного подхода и метода вспомогательных точечных источников. 3) Для нелокальных волновых процессов обнаружен эффект локализации влияния нелокальности среды на волновое поле в ближней зоне источника его возмущения. Каждый из этих результатов имеет самостоятельную ценность и порождает новое направление дальнейших исследований в области разработки эффективных методов компьютерного моделирования нелокальных процессов. Этим определяется **теоретическая значимость** работы.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования разработанных последовательных и параллельных алгоритмов, а также созданного комплекса программ, для решения практических задач компьютерного моделирования нелокальных процессов, описываемых линейными многомерными дробно-дифференциальными уравнениями. При этом, в силу одного из фундаментальных принципов математического моделирования – принципа универсальности математических моделей, разработанные алгоритмы и программы могут быть использованы для компьютерного моделирования весьма широкого класса нелокальных процессов переноса вещества и энергии.

Полученные в работе результаты подтверждаются строгими математическими выкладками, доказательствами, тестовыми расчётами, иллюстрируются показательными примерами, что определяет их **достоверность**.

Диссертация Белевцова Н.С. соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ:

- п. 1. «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений (физико-математические науки)»;
- п. 2. «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий»;
- п. 3. «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента».

В ходе работы над диссертацией Белевцов Н.С. проявил высокую самостоятельность и целеустремленность в решении научных задач. При этом большую роль в становлении его как исследователя сыграло участие в крупных


научных проектах. Еще студентом младших курсов бакалавриата он участвовал в качестве исполнителя в мегагранте по теме «Математическое моделирование и групповой анализ дифференциальных уравнений» (2011–2015 гг.), выполнявшегося под руководством ведущего ученого профессора Н.Х. Ибрагимова. Часть результатов диссертационной работы была получена Белевцовым Н.С. в ходе выполнения работ по проектной части госзадания Минобрнауки РФ по теме «Математическое и компьютерное моделирование процессов фильтрации в неоднородных коллекторах нефтегазовых месторождений на основе дробно-дифференциального подхода» (2017–2019 гг.).

Результаты и основные положения диссертации Белевцова Н.С. опубликованы в 26 научных работах, в том числе 3 статьи – в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 4 статьи – в журналах, включенных в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и/или Scopus; также получены два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Считаю, что диссертация Белевцова Никиты Сергеевича на тему «Мультипольные алгоритмы для многомерных дробно-дифференциальных моделей диффузионных и волновых процессов» является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям п.п. 9-11, 13, 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), предъявляемых к кандидатским диссертациям, а диссертант заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук
(05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ),
доцент, профессор кафедры высокопроизводительных
вычислительных технологий и систем ФГБОУ ВО
«Уфимский университет науки и технологий»,
450076, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.
Тел.: +7(908)3502274
E-mail: lsu@ugatu.su

 / Лукашук Станислав Юрьевич
«04» мая 2023 г.

Подпись Лукашука С.Ю. заверяю:
Ученый секретарь Ученого совета университета
к.ф.н., доцент



Н.В. Ефименко