

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
24.2.422.04, созданного на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский
государственный университет» Министерства науки и высшего
образования Российской Федерации, по диссертации на соискание
ученой степени доктора наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25.09.2024 г. № 6

О присуждении Бейбалаеву Ветлугину Джабраиловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Математические модели динамических процессов во фрактальных и пористых средах» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 07 июня 2024 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.2.422.04, созданным на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 432017, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, д. 42, утвержденного приказом Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки (Рособрнадзор) Министерства образования и науки Российской Федерации № 1100/нк от 23 мая 2023 г.

Соискатель Бейбалаев Ветлугин Джабраилович, 3 октября 1967 года рождения. В 1993 году Бейбалаев В.Д. окончил Дагестанский государственный университет им. В.И. Ленина по специальности «Математика».

В 2000 году Бейбалаев В.Д. окончил аспирантуру Дагестанского государственного университета по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика.

Диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук «Математические модели неравновесных процессов в средах с фрактальной структурой» защитил в 2009 году, в совете Д 212.208.22 при Южном федеральном университете.

В.Д. Бейбалаев работает в должности доцента кафедры прикладной математики ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет» (основное место работы); работает в должности старшего научного сотрудника Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ИПГВЭ - филиал ОИВТ РАН в г. Махачкале) (по совместительству).

Диссертация выполнена на кафедре прикладной математики в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Дагестанский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – Аливердиев Абутраб Александрович, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории энергетики Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ИПГВЭ - филиал ОИВТ РАН в г. Махачкале) (основное место работы); профессор кафедры теоретической и вычислительной физики ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет» (по совместительству).

Официальные оппоненты:

1. Москалев Павел Валентинович – доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», кафедра прикладной математики, профессор кафедры;

2. Паровик Роман Иванович – доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения РАН», лаборатория моделирования физических процессов, ведущий научный сотрудник;

3. Чистяков Александр Евгеньевич – доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»,

кафедра «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», профессор кафедры,

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук» (КБНЦ РАН) в своем положительном отзыве, подписанном Рехвиашвили Серго Шотовичем, доктором физико-математических наук, заместителем директора по науке Института прикладной математики и автоматизации филиала «Федерального научного центра «Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук» и утвержденном Нагоевым Залимханом Вячеславовичем, кандидатом технических наук, генеральным директором Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», указала, что результаты исследования нестационарных процессов неизотермической фильтрации, включающие эффекты памяти и пространственные корреляции через производные дробного порядка и эмпирические модели теплопроводности горных пород, полученные в диссертации Бейбалаева Ветлугина Джабраиловича на тему «Математические модели динамических процессов во фрактальных и пористых средах», могут быть использованы при моделировании и проектировании нефтяных месторождений, функционировании геотермальных систем и прогнозировании глубинных температур, а также для создания программных продуктов для их численного моделирования.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что результаты, которые получены в диссертационной работе, включающие в себя численные методы решения дифференциальных уравнений с производными дробного порядка, качественного исследования линейных и нелинейных динамических систем и результаты исследования нестационарных процессов теплопроводности, внесет вклад в развитие фундаментальных основ математического моделирования нестационарных динамических процессов.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования результатов исследования нестационарных процессов неизотермической фильтрации, включающих эффекты памяти и пространственные корреляции через производные дробного порядка, и

теплопроводности горных пород при моделировании и проектировании нефтяных месторождений, функционировании геотермальных систем и прогнозировании глубинных температур.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы к применению в теоретических и прикладных исследованиях научных и научно-производственных организациях, таких как ФГБУН Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики, филиал ОИВТ РАН, ФГБУН Институт прикладной математики и автоматизации КБНЦ РАН, ФГБУН Институт космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения РАН, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», АО «Башнефтегеофизика», ПГО «Тюменьпромгеофизика» и т.д.

Содержание автореферата диссертации соответствует содержанию диссертации и отражает ее основные положения.

Диссертация является самостоятельной законченной научно-исследовательской квалификационной работой, содержащей решение актуальной проблемы по разработке новых методов, численных алгоритмов и комплексов объектно-ориентированных программ для исследования нелокальных динамических процессов во фрактальных и пористых средах, совокупность которых можно квалифицировать как новое и достаточно крупное научное достижение. Диссертация соответствует пунктам 9–11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Бейбалаев Ветлугин Джабраилович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Соискатель имеет 77 научных работ, по теме диссертации опубликовано 46 научных работ, из них: 32 статьи опубликованы в изданиях из перечня рекомендованных ВАК для публикации основных результатов докторских диссертаций, 20 из которых опубликованы в научных журналах, входящих в международные реферативные базы WOS и Scopus; изданы 3 монографии; получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 8 статей опубликованы в прочих изданиях.

Приведенные в диссертации сведения являются достоверными, публикации отражают основные результаты проведенного диссертационного

исследования. Общий объем работ – 16,94 п.л., вклад соискателя – не менее 85 %.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

1. Beybalayev V.D. Mathematical Model of transfer in fractal structure mediums // Mathematical Models and Computer Simulations. – 2010. – Т. 2, no. 1. – P. 91–97. (BAK, WOS, Scopus, Q3)

2. Beybalaev V.D., Meilanov R.P. The Dirihlet problem for the fractional Poissons equation with Caputo Derivativesr // Thermal Science. – 2012. – Vol. 16, no. 2. – P. 385–394. (WOS, Scopus, Q2)

3. Beybalaev V.D., Shabanova M.R. A Finite Difference scheme for solution of a fractional heat Diffusion wave equation without initial conditions // Thermal Science. – 2015. – Vol. 19, no. 2. – P. 531–536. (WOS, Scopus, Q2)

4. Emirov S.N., Beybalaev V.D. [et al.] Study of the thermal conductivity of SiC–BeO ceramics at high pressures and temperatures // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2017. – Vol. 71. – P. 290–292. (WOS, Scopus, Q3)

5. Magomedov R.A., Meilanov R.R., Beybalaev V.D. [et al.] Generalization of thermodynamics in of fractional-order derivatives and calculation of heat-transfer properties of noble gases // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2018. – Vol. 133, no. 2. – P. 1189–1194. – DOI:10.1007/s10973-018-7024-2. (WOS, Scopus, Q1)

6. Emirov S.N., Beybalaev V.D. [et al.] Temperature and Baric Patterns of Changes in the Thermal Conductivity of Composite Materials // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2018. – Т. 82, no. 7. – P. 888–891. (WOS, Scopus, Q3)

7. Emirov S.N., Aliverdiev A.A., Beybalaev V.D. [et al.] Temperature and Pressure Dependences of the Effective Thermal Conductivity of Granites // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2020. – Vol. 84, no. 9. – P. 1144–1146. (WOS, Scopus, Q3)

8. Beibalaev V.D. [et al.] Numerical Research of Non-Isothermal Filtration Process in Fractal Medium with Non-locality in Time // Thermal Science. – 2021. – Vol. 25, no.1B. – P. 465–475. (WOS, Scopus, Q3)

9. Emirov S.N., Aliverdiev A.A., Beybalaev V.D., Amirova A.A. On the temperature and pressure dependences of the effective thermal conductivity of

granites // Thermal Science. – 2021. – Vol. 25, no. 4A. – P. 2493–2501. (WOS, Scopus, Q3)

10. Alishaev M.G., Beybalaev V.D., Aliev R.M., Aliverdiev A.A. Heating and cooling of water injected into the well // Thermal Science. – 2021. – Vol. 25, no. 2. – P. 315–320. (WOS, Scopus, Q3)

11. Aliev R.M., Aliverdiev A.A., Beybalaev V.D., Zarichnyak Yu.P., Ramazanova E.N. Effect of Pressure on the Temperature Dependence of the Effective Thermal Conductivity of Gallium Antimonide with Different Degrees of Ordering // Journal of Surface Investigation. – 2022. – Vol. 16, no. 3 – P. 338–342. (Scopus, Q4)

12. Beybalaev, V.D., Aliverdiev A.A. [et al.] Mathematical Model of Heat Conduction for a Semi-Infinite Body, Taking into Account Memory Effects and Spatial Correlations // Fractal and Fractional. – 2023. – Vol. 7(3), no. 265. – DOI: org/10.3390/fractalfract7030265. (WOS, Scopus, Q1)

13. Beybalaev V.D., Aliverdiev A.A., Hristov J. Transient Heat Conduction in a Semi-Infinite Domain with a Memory Effect: Analytical Solutions with a Robin Boundary Condition // Fractal and Fractional. – 2023. – Vol. 7(10), no. 770. – DOI: org/10.3390/fractalfract7100770. (WOS, Scopus, Q1).

14. Alishaev M.G., Aliverdiev A.A., Beybalaev V.D. Problem of injection of dry steam into a reservoir without condensation in the well // High Temperature. – 2023. – Vol. 61, no 6. – P. 840–845. – DOI: 10.1134/s0018151x2306010x. (WOS, Scopus, Q2).

15. Бейбалаев В.Д., Шабанова М.Р. Численный метод решения краевой задачи для двумерного уравнения теплопроводности с производными дробного порядка // Вестник Самарского ГТУ. Сер.: Физ.-мат. науки. – 2010. – Вып. 5(21). – С. 244–252. (ВАК, K1)

16. Бейбалаев В.Д. О численном решении задачи Дирихле для уравнения Пуассона с производными дробного порядка // Вестник Самарского ГТУ. Сер.: Физ.-мат. науки. – 2012. – Вып. 2(27). – С. 183–187. (ВАК, K1)

17. Назаралиев М.А., Бейбалаев В.Д. Динамические системы, описываемые двумя дифференциальными уравнениями с производными дробного порядка // Владикавказский математический журнал. – 2013. – Т.15, №1. – С. 30–40. (ВАК, K1)

18. Бейбалаев В.Д., Якубов А.З. Анализ разностной схемы аналога волнового уравнения с оператором дробного дифференцирования // Вестник

Самарского ГТУ. Сер.: Физ.-мат. науки. – 2014. – Вып. 1(34). – С. 125–133. (ВАК, K1)

19. Тренкин А.А., Карелин В.И., Бейбалаев В.Д. [и др.] Динамика электронов в ветвящихся системах газоразрядных каналов со спадающей концентрацией газа // Нелинейный мир. – 2017. – Т. 15, № 3. – С. 24–31. (ВАК, K2)

20. Бейбалаев В.Д., Аливердиев А. А., Магомедов Р. А. [и др.] Моделирование процессов промерзания одномерным уравнением теплопроводности с операторами дробного дифференцирования // Вестник Самарского ГТУ. Сер. Физ.-мат. науки. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 376–387. (WOS, ВАК, K1)

21. Бейбалаев В.Д., Малиева Ф.Ф. О сходимости разностного метода решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения с оператором дробного дифференцирования // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2018. – № 2 (198). – С. 30–34. (ВАК, K2)

22. Бейбалаев В.Д. Математические модели динамических процессов в фрактальных и пористых средах. – Махачкала: Из-во ДГУ, 2022. – 278 с. – ISBN 978-5-9913-0227-1. (Монография)

23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023612642 Российская Федерация. Программная реализация алгоритма компьютерного моделирования нелинейных динамических систем, описываемых дробными дифференциальными уравнениями, методом фазовой плоскости: № 2023610970: заявлено 25.01.2023; опубликовано 06.02.2023 / Бейбалаев В.Д.; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет». – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы от:

1. Ведущей организации, где в качестве замечания указано, что:

1) В работе имеются некоторые опечатки, такие как на странице 51 в формуле (2.8), в нижнем пределе интегрирования пропущена единица, на странице 54 в условии на переменную t вместо границ области 0 и T

указаны a и b , на странице 69 вместо равенства $C_m^n = C(x_m, t_n)$ должно быть приближенное равенство $u_m^n \approx u(x_m, t_n)$.

2) В работе автором исследовано поведение фазовых траекторий линейной динамической системы, которая описывается системой из двух дифференциальных уравнений с производными дробного порядка Капуто в случае действительных корней характеристического уравнения. Представляет интерес случай комплексных корней характеристического уравнения.

3) На рисунке 4.22 приведена фазовая траектория осциллятора Дуффинга при $\alpha = 0.7$. На странице 122 в пояснении к рисунку автор указывает, что положение равновесия имеет тип центр. Однако в данном случае имеет место предельный цикл.

4) В параграфе 2 главы 5 численно исследована начально-краевая задача для системы дифференциальных уравнений неизоэнтальной фильтрации с частной дробной производной Капуто по времени. Было бы интересно показать возможность применения разработанной разностной схемы при решении прикладных задач фильтрации флюидов в пористых горных породах.

2. Оппонента Москалева Павла Валентиновича, отзыв положительный, с замечаниями:

1) В четвертой главе на странице 141 в подписи к рис. 4.32, иллюстрирующего статистическую оценку фрактальной размерности автографов искрового разряда на поверхности плоского электрода, более корректно было бы указать, что линии строятся не «интерполяцией», а «аппроксимацией по методу наименьших квадратов». Кроме того, при прочтении раздела складывается впечатление, что рис. 4.32 ошибочно перемещен со страницы 136 на страницу 141.

2) В пятой главе при построении температурных и барических полей, описывающих решения задач теплопроводности и фильтрации во фрактальных и пористых средах, автором на рис. 5.1, 5.2 и далее показаны численные решения при фиксированных значениях показателей дробных производных α и β (например, на рис. 5.1 при $\alpha = 0,7; 0,9; 1,0$). При этом не вполне ясна связь используемых показателей α и β с эффективными параметрами пористых сред (например, с объемной пористостью среды, с

эффективным гидравлическим диаметром пор или с коэффициентом извилистости пор), что несколько затрудняет интерпретацию полученных автором выводов.

3) В шестой главе не показана взаимосвязь показательно-степенных функций вида (6.2), используемых для аппроксимации зависимости теплопроводности горных пород от давления и температуры, с результатами исследований, представленными в предыдущих главах.

4) При анализе адекватности аппроксимации зависимости теплопроводности горных пород от давления и температуры было бы полезно указать погрешности экспериментальных данных, используемых в шестой главе для построения статистических моделей.

5) В седьмой главе при описании структуры и функциональных схем комплексов прикладных программ автором не указаны варианты взаимодействия разработанного программного обеспечения с существующими системами компьютерной математики общего назначения (например, для углубленного анализа результатов вычислительных экспериментов).

6) На странице 16 автореферата диссертационной работы есть ссылки на формулы (3.1), (3.2), (3.5) и (3.6), которые в автореферате или отсутствуют, или имеют иное обозначение.

7) В тексте диссертации и автореферата присутствуют опечатки (например, «иптегро-дифференциальные операторы» в 1 абзаце на странице 6 диссертации, или « S – площадь нагреваемой области, m^2 » в 1 абзаце на странице 22 автореферата), несколько снижающие общее положительное впечатление от проделанной автором работы.

3. Оппонента Паровика Романа Ивановича, отзыв положительный, с замечаниями:

1) В названии диссертационного исследования есть понятие фрактальные среды, но дальше в диссертации есть некоторое упоминания о фрактальных средах, но нет его определения. Какой смысл вкладывает в это понятие диссертант? Может ли пористая среда быть фрактальной?

2) На странице 31 приведена Теорема 1.1 о предельном отношении дробной производной Римана-Лиувилля. Существует ли аналогичная теорема для предельного отношения дробной производной Капуто?

3) На странице 138 приведено уравнение (4.48) для описания электронов. В правой части уравнения стоит производная Капуто, порядок которой соответствует размерности канторова множества. Возникает тогда вопрос для других, рассмотренных в диссертации задач, порядок дробных производных также совпадает с фрактальной размерностью среды или имеет другую интерпретацию в зависимости от типа задачи.

4) В главе 7 встречается выражение схема комплекса математических программ. Здесь речь идет о комплексе компьютерных программ.

5) В главе 7 говорится о том, что программный комплекс имеет модульную структуру. Т.е. должен быть некоторый интерфейс, в котором пользователь должен выбрать компьютерную программу (модуль) для решения той или иной задачи. В главе дано описание каждой из программ, однако не дано описание общего интерфейса.

6) На странице 131 приведена запись $a_n = rnd$, где нет пояснений rnd . Если это генератор случайных чисел, то по какому закону он распределен?

7) В диссертационной работе имеются некоторые опечатки.

4. Оппонента Чистякова Александра Евгеньевича, отзыв положительный, с замечаниями:

1) В конце глав не сформулированы выводы.

2) В схеме (3.5) весовой параметр σ принадлежит отрезку от 0 до 1. В работе сказано $\sigma \geq 0$. Верхнее значение суммы $k = n + 1$ подставим в u^{k+1} и получаем u^{n+2} . Как это согласуется с расчетом u^{n+1} ? В формуле (3.7) пределы суммирования уже от 1 до $n - 2$. Данные утверждения требуют большего обоснования.

3) Перед формулой (3.45) говорится, что все условия принципа максимума выполнены, а где проверка наличия диагонального преобладания $D(z) = A(z) - \sum_{\xi \in \Pi(z)} B(z, \xi) \geq 0$. Здесь $\Pi(x)$ лучше обозначить $\Pi(z)$ (шаблон с центром в z).

4) В формулах (3.25), (3.26), (3.27) и (3.38) не понятно, почему утверждается второй порядок точности.

5) Переход к неравенству на странице 86 (Глава 3, пар.4) не обоснован.

5. Заричняка Юрия Петровича, доктора физико-математических наук, профессора, ординарного доцента Образовательного центра

«Энергоэффективные Инженерные системы» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики». Отзыв на автореферат положительный, с замечанием: при подготовке доклада к защите диссертации имеет смысл показать, дает ли преимущества применение математического аппарата дробных производных при решении практических задач фильтрации флюидов в пористых горных породах, или это развитие математического аппарата.

6. Сербиной Людмилы Ивановны, доктора физико-математических наук, профессора, почетного работника высшего и профессионального образования Российской Федерации, академика АМАН, член-корр. РАЕН, профессор кафедры «Математика, информатика и цифровые образовательные технологии» ГБОУ ВО «Ставропольский государственный педагогический институт». Отзыв на автореферат положительный, с замечаниями: имеются некоторые недочеты в оформлении, такие как опечатки, отсутствие расшифровки сокращений.

7. Потапова Александра Алексеевича, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН. Отзыв на автореферат положительный, с замечаниями: имеются некоторые недочеты в тексте автореферата, такие как, неверные нумерации формул в условии теоремы 3.1, отсутствие определений дробных производных Римана-Лиувилля и Рисса.

8. Новиковой Светланы Владимировны, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева- КАИ». Отзыв на автореферат положительный, с замечаниями: тексте автореферата не приведены определения дробных производных Римана-Лиувилля и Рисса, не определены коэффициенты q_k в разностной схеме (10).

9. Куповых Геннадия Владимировича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой физико-математических основ инженерного образования Института компьютерных технологий и информационной безопасности ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет». Отзыв на автореферат положительный, с замечанием: как

температурные и барические закономерности изменения теплопроводности связаны с плотностью горных пород.

10. Григорьева Евгения Борисовича, доктора технических наук, доцента, главного научного сотрудника Московского центра исследования пластовых систем (керна и флюиды), ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ». Отзыв на автореферат положительный с замечанием: имеются незначительные опечатки.

11. Алисултанова Заура Замировича, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника Международного центра теоретической физики им. Абрикосова, ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт». Отзыв на автореферат положительный с замечаниями:

1) Хотя результаты работы достаточно высокого уровня, я все же считаю не очень высоким рейтинг журналов, в которых они были опубликованы. Это явное упущение автора, ибо часть результатов могла бы быть опубликована в более престижных журналах.

2) При переходе к дробным операторам, очевидно, необходимо обезразмерить уравнение, чтобы сохранить размерность искомых физических величин. При этом вводится некоторая постоянная, называемая часто характерной константой задачи. Это характерные время, длина, температура и т.д. Часто характерная константа выбирается исходя из не совсем понятных соображений. Между тем, выбор этой константы задачи также значительно влияет на решение уравнений дробного порядка. Из автореферата не очень ясно, какое внимание автор уделяет этому важному вопросу при применении теории для описания физических явлений.

3) В списке публикаций автора есть статья в журнале «Нелинейный мир», которая автором включена в категорию журналов, рекомендованных ВАК (статья 28), а другая статья в том же журнале «Нелинейный мир» указана, как публикация в журнале, не входящем в список ВАК (статья 41).

12. Радченко Владимира Павловича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Отзыв на автореферат положительный с замечаниями:

1) К сожалению, в тексте автореферата имеется много синтаксических ошибок, особенно на стр. 3-13: знаки препинания, род, число, падежные окончания, деепричастные обороты. Но это не сказывается собственно на полученные «рабочие» результаты, которые существенны для предметной области.

2) Непонятно, с какой целью приведены теоремы 1.1 и 1.2, это общеизвестные факты.

3) Имеются претензии к формулировке «научной новизны» в первом и четвертом пунктах. Здесь указано, что методы и алгоритмы отличаются от известных, но в чем отличие? Какой общностью они обладают в сравнении с существующими подходами?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией, известностью и достижениями в области математического моделирования нелокальных динамических процессов, описываемых дифференциальными уравнениями с производными дробного порядка, численных методов решения начально-краевых задач для дифференциальных уравнений с дробными производными и разработки комплексов объектно-ориентированных программ для численного исследования динамических процессов, описываемых дифференциальными уравнениями с дробными производными, а также наличием публикаций в ведущих рецензируемых изданиях и способностью определить научную новизну и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– *разработаны* вычислительные методы и алгоритмы численного решения задачи Коши для систем ОДУ с дробными производными, доказаны теоремы о сходимости этих разностных методов и получены условия для нахождения шага сетки в зависимости от параметра дробной производной;

– *разработаны* разностные схемы и алгоритмы нахождения численного решения начально-краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных дробного порядка. Доказаны теоремы об устойчивости и сходимости этих разностных схем;

– *проведено* качественное исследование поведения фазовых траекторий линейной однородной динамической системы, отображаемой

системой двух дифференциальных уравнений с дробными производными в случае действительных корней характеристического уравнения;

– *применены* методы линеаризации нелинейных дифференциальных уравнений с производными дробного порядка вблизи точки равновесия и алгоритмы численного решения при больших отклонениях от положения равновесия для качественного исследования поведения фазовых траекторий нелинейных динамических систем, описываемых дифференциальными уравнениями дробного порядка. Установлены параметры, определяющие структуру дробного «брюсселятора», дробного осциллятора Дуффинга, нелокальной динамической системы «хищник-жертва» в зависимости от параметра дробной производной;

– *численно* исследована математическая модель движения электронов в структуре ветвящихся каналов на основе нелинейного дифференциального уравнения с производной дробного порядка, адекватно соответствующая исследуемому процессу по сравнению с моделями, построенными на основе дифференциальных уравнений с производными целого порядка; показано, что решения представляют собой обобщенный режим движения электронов, описывающий переход от дрейфового движения к ускоренному движению и эффект роста скорости электронов реализуется за счет снижения их эффективной частоты столкновений в результате расширения каналов. Установлено, что с ростом фрактальной размерности и степенного показателя, характеризующего быстроту расширения каналов, скорость электронов возрастает;

– *проведено* численное исследование нестационарных процессов промерзания, неизотермической фильтрации в средах с фрактальной структурой, включающих эффекты памяти и пространственные корреляции через производные дробного порядка; исследована математическая модель промерзания грунта, учитывающая особенности теплопереноса на межфазовой границе и эффекты памяти через дробную производную Капуто по времени, оценены функциональные зависимости движения межфазной границы для обобщенного условия Стефана в зависимости от значения параметра дробной производной; установлено, что переход к дробным производным позволяет описать замедление процесса промерзания грунта относительно классического решения;

– *получено* аналитическое решение начально-краевой задачи для нестационарного уравнения теплопроводности с граничными условиями второго рода и на основе этого решения исследованы нестационарные процессы теплопроводности для полуограниченного тела, включающее эффекты памяти и пространственные корреляции через производные дробного порядка;

– *исследованы* нелокальные процессы конвективного теплообмена с внешней средой с учетом эффектов памяти, получено аналитическое решение начально-краевой задачи Робена для нестационарной теплопроводности дробной по времени производной Капуто в полубесконечной области и с конвективным теплообменом (закон Ньютона) на границе, проведены вычислительные эксперименты по анализу решения в зависимости от значений параметров дробных производных;

– *получены* эмпирические модели теплопроводности горных пород, включающие численное моделирование процессов теплопереноса при различных температурах и давлениях, с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента, основанной на корреляционно-регрессионном анализе, адекватность моделей проверена их согласованностью с экспериментальными данными по теплопроводности горных пород;

– *реализованы* численные методы и алгоритмы решения задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений с производными дробного порядка в виде объектно-ориентированных программ на языке высокого уровня для численного исследования нелинейных динамических систем, описываемых дифференциальными уравнениями дробного порядка, получено авторское свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ; проведены вычислительные эксперименты по исследованию поведения фазовых траекторий нелинейных динамических систем, описываемых дифференциальными уравнениями дробного порядка, в зависимости от параметра дробной производной и фрактальных характеристик микроструктуры газоразрядных каналов;

– *реализованы* численные методы решения начально-краевых задач для уравнения теплопроводности с частными производными дробного порядка в виде объектно-ориентированных программ на языке высокого уровня для

численного исследования нестационарных процессов теплопроводности с учетом эффектов памяти и пространственных корреляций, получено авторское свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ; проведены вычислительные эксперименты по анализу решений нелокальной задачи Стефана и неизотермической фильтрации с частными производными дробного порядка;

– *разработан* комплекс объектно-ориентированных программ на языке высокого уровня для расчета теплопроводности горных пород в зависимости от температуры и давления, получено авторское свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ; проведены вычислительные эксперименты по расчету теплопроводности песчаника, мергеля, гранитов, гранулитов, аргиллитов и известняка, основанные на корреляционно-регрессионном анализе и проверке адекватности математических моделей теплопроводности горных пород на основе экспериментальных данных.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в работе разработаны новые методы и средства математического моделирования нелокальных динамических процессов с учетом эффектов памяти и пространственных нелокальностей.

Достоверность основных результатов подтверждается строгими математическими доказательствами всех теоретических результатов, а также апробацией на всероссийских и международных конференциях и семинарах различного уровня, наличием публикаций в профильных рецензируемых изданиях.

Личный вклад автора работы состоит в формулировке и доказательстве теорем 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 4.1, 5.1. Все основные теоретические результаты диссертационного исследования получены соискателем самостоятельно.

Постановка и проведение вычислительных экспериментов выполнены соискателем также самостоятельно. Анализ результатов выполнен совместно с научным консультантом и соавторами.

Разработка программного комплекса «Программная реализация алгоритма компьютерного моделирования нелинейных динамических

систем, описываемых дробными дифференциальными уравнениями» осуществлялась соискателем самостоятельно, а двух других – с соавторами.

Диссертация Бейбалаева В.Д. является законченной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой разработаны численные методы решения начальных и начально-краевых задач для дифференциальных уравнений с производными дробного порядка, построены математические модели динамических процессов, описываемых дифференциальными уравнениями с производными дробного порядка, решены актуальные задачи исследования нестационарных процессов теплопроводности, учитывающие эффекты памяти через производные дробного порядка, проведено численное моделирование теплопроводности горных пород в зависимости от температуры и давления, разработаны комплексы объектно-ориентированных программ для численного исследования нелинейных динамических систем, описываемых дробными дифференциальными уравнениями, нелокальных процессов теплопроводности с учетом эффектов памяти и пространственных корреляций и теплопроводности горных пород в зависимости от температуры и давления.

В ходе защиты диссертации критических замечаний не было высказано. Соискатель Бейбалаев В.Д. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию на основании полученных в диссертационном исследовании результатов.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что представленная диссертационная работа соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней, изложенным в п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

На заседании 25 сентября 2024 г. диссертационный совет 24.2.422.04 принял решение присудить Бейбалаеву Ветлугину Джабраиловичу ученую степень доктора физико-математических наук за разработку теоретических положений в области моделирования и анализа динамических процессов во фрактальных и пористых средах, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, включающее решение ряда

актуальных задач: разработка новых моделей, численных методов и комплексов программ для исследования нестационарных процессов теплопереноса с учетом эффекта памяти и пространственных корреляций, введенных с помощью производных дробного порядка; исследование нестационарных процессов теплопроводности с учетом эффектов памяти; полученные эмпирические модели теплопроводности горных пород, включая численное моделирование процессов теплопереноса при различных температурах и давлениях, что имеет важное значение для проектирования и эксплуатации нефтяных месторождений, функционирования геотермальных систем и прогнозирования глубинных температур, а также для создания программных продуктов для их численного анализа.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав диссертационного совета, (дополнительно введенных на защиту не было), проголосовали: за присуждение учёной степени – 10, против присуждения учёной степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета

24.2.422.04

Бутов Александр Александрович

Ученый секретарь

диссертационного совета

24.2.422.04

25 сентября 2024 г.



Волков Максим Анатольевич