

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 1.2.05.22
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК**

от «15» апреля 2026 г. № 3

о присуждении Хенди Ахмеду Саиду Абделазизу, гражданство Арабской республики Египет, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Development and Evaluation of Numerical Solvers for Mathematical Models with Fractional Derivatives (Разработка и оценивание численных решателей для математических моделей с дробными производными)» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите диссертационным советом УрФУ 1.2.05.22 30 января 2026 г. протокол № 1.

Соискатель Хенди Ахмед Саид Абделазиз, 1987 года рождения, в 2017 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Численные алгоритмы решения дробных дифференциальных уравнений с запаздыванием» в диссертационном совете, созданном на базе Института математики и механики имени Н. Н. Красовского УрО РАН;

работает в должности ведущего научного сотрудника в научной лаборатории «Математическое моделирование в физиологии и медицине с использованием суперкомпьютерных технологий» ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Диссертация выполнена в научной лаборатории «Математическое моделирование в физиологии и медицине с использованием суперкомпьютерных технологий» и на кафедре вычислительной математики и компьютерных наук ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор Пименов Владимир Германович, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра вычислительной математики и компьютерных наук, заведующий.

Официальные оппоненты:

Лалин Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Москва), кафедра высшей математики, механики и математического моделирования, профессор;

Лукашук Станислав Юрьевич, доктор физико-математических наук, доцент, ООО «РН-Технологии» (г. Москва), отдел развития сейсмических проектов, эксперт;

Масловская Анна Геннадьевна, доктор физико-математических наук, профессор, Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис» (г. Иннополис, Республика Татарстан), факультет компьютерных и инженерных наук, профессор.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 236 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 75 работ, из них 75 опубликовано в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, и проиндексированных в базах цитирования Web of Science и Scopus. По результатам исследования зарегистрированы 8 комплексов программ для ЭВМ. Общий объем опубликованных по теме диссертации работ – 86.3 п.л., авторский вклад – 27.6 п.л.

Основные публикации по теме диссертации:

статьи в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. Macías-Díaz J. E., **Hendy A. S.**, De Staelen R. H. A pseudo energy-invariant method for relativistic wave equations with Riesz space-fractional derivatives // Computer Physics Communications. — 2018. — V. 224. — P. 98–107. (0.8461 п.л. / 0.2820 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
2. Macías-Díaz J. E., **Hendy A. S.**, De Staelen R. H. A compact fourth-order in space energy-preserving method for Riesz space-fractional nonlinear wave equations // Applied Mathematics and Computation. — 2018. — V. 325. — P. 1–14. (0.9375 п.л. / 0.3125 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
3. **Hendy A. S.**, Macías-Díaz J. E., Serna-Reyes A. J. On the solution of hyperbolic two-dimensional fractional systems via discrete variational schemes of high order of accuracy // Journal of Computational and Applied

- Mathematics. — 2019. — V. 354. — P. 612–622. (0.750 п.л. / 0.25 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
4. Macías-Díaz J. E., **Hendy A. S.** Algorithm for some anomalously diffusive hyperbolic systems in molecular dynamics: Theoretical analysis and pattern formation // Journal of Computational Physics. — 2019. — V. 397. — P. 108863. (1.25 п.л. / 0.625 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
 5. **Hendy A. S.**, Macías-Díaz J. E. A numerically efficient and conservative model for a Riesz space-fractional Klein–Gordon–Zakharov system // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. — 2019. — V. 71. — P. 22–37. (1 п.л. / 0.5 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
 6. **Hendy A. S.**, Macías-Díaz J. E. A novel discrete Gronwall inequality in the analysis of difference schemes for time-fractional multi-delayed diffusion equations // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. — 2019. — V. 73. — P. 110–119. (0.625 п.л. / 0.3125 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
 7. Zaky M. A., **Hendy A. S.**, Macías-Díaz J. E. Semi-implicit Galerkin–Legendre spectral schemes for nonlinear time–space fractional diffusion–reaction equations // Journal of Scientific Computing. — 2020. — V. 82, № 1. — P. 13. (1.6875 п.л. / 0.5625 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
 8. **Hendy A. S.**, Zaky M. A. Global consistency analysis of L1-Galerkin spectral schemes for coupled nonlinear space–time fractional Schrödinger equations // Applied Numerical Mathematics. — 2020. — V. 156. — P. 276–302. (1.6875 п.л. / 0.8437 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
 9. **Hendy A. S.**, Pimenov V. G., Macías-Díaz J. E. Convergence and stability estimates in difference setting for time-fractional parabolic equations with functional delay // Numerical Methods for Partial Differential Equations. — 2020. — V. 36, № 1. — P. 118–132. (0.9375 п.л. / 0.3125 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q2)
 10. **Hendy A. S.**, Zaky M. A., Abbaszadeh M. Long time behavior of Robin boundary sub-diffusion equation with fractional partial derivatives of Caputo type // Mathematics and Computers in Simulation. — 2021. — V. 190. — P. 1370–1378. (0.5625 п.л. / 0.1875 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
 11. **Hendy A. S.**, Zaky M. A. Combined Galerkin spectral/finite difference method over graded meshes for the generalized nonlinear fractional Schrödinger equation // Nonlinear Dynamics. — 2021. — V. 103, № 3. — P. 2493–2507. (0.9375 п.л. / 0.4687 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)

12. Zaky M. A., **Hendy A. S.** An efficient dissipation-preserving Legendre–Galerkin spectral method for the Higgs boson equation in the de Sitter spacetime universe // *Applied Numerical Mathematics*. — 2021. — V. 160. — P. 281–295. (0.9375 п.л. / 0.4687 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
13. **Hendy A. S.** Numerical treatment for after-effected multi-term time–space fractional advection–diffusion equations // *Engineering with Computers*. — 2021. — V. 37, № 4. — P. 2763–2773. (0.6875 п.л. / 0.6875 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
14. Zaky M. A., **Hendy A. S.**, Alikhanov A. A., Pimenov V. G. Numerical analysis of multi-term time-fractional nonlinear subdiffusion equations with time delay: what could possibly go wrong? // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. — 2021. — V. 96. — P. 105672. (0.9375 п.л. / 0.2344 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
15. **Hendy A. S.**, Zaky M. A., Macías-Díaz J. E. On the dissipativity of some Caputo time-fractional subdiffusion models in multiple dimensions // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. — 2022. — V. 400. — P. 113748. (0.8125 п.л. / 0.2708 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
16. **Hendy A. S.**, Taha T., Suragan D., Zaky M. A. An energy-preserving computational approach for the semilinear space-fractional damped Klein–Gordon equation with a generalized scalar potential // *Applied Mathematical Modelling*. — 2022. — V. 108. — P. 512–530. (1.1875 п.л. / 0.2968 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
17. **Hendy A. S.**, Zaky M. A. Graded mesh discretization for coupled system of nonlinear multi-term time–space fractional diffusion equations // *Engineering with Computers*. — 2022. — V. 38, № 2. — P. 1351–1363. (0.8125 п.л. / 0.4063 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
18. Van Bockstal K., Zaky M. A., **Hendy A. S.** On the existence and uniqueness of solutions to a nonlinear variable order time-fractional reaction–diffusion equation with delay // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. — 2022. — V. 115. — P. 106755. (0.875 п.л. / 0.2916 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
19. **Hendy A. S.**, Van Bockstal K. On a reconstruction of a solely time-dependent source in a time-fractional diffusion equation with non-smooth solutions // *Journal of Scientific Computing*. — 2022. — V. 90, № 1. — P. 41. (2.0625 п.л. / 1.0312 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)

20. **Hendy A. S.**, Van Bockstal K. A solely time-dependent source reconstruction in a multi-term time-fractional order diffusion equation with non-smooth solutions // Numerical Algorithms. — 2022. — V. 90, № 2. — P. 809–832. (1.5 п.л. / 0.75 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
21. Omran A., Zaky M., **Hendy A.**, Pimenov V. An easy to implement linearized numerical scheme for fractional reaction–diffusion equations with a prehistorical nonlinear source function // Mathematics and Computers in Simulation. — 2022. — V. 200. — P. 218–239. (1.375 п.л. / 0.3437 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
22. **Hendy A. S.**, Zaky M. A., Van Bockstal K. Theoretical and numerical aspects for the longtime behavior of nonlinear delay time Caputo fractional reaction–diffusion equations // Nonlinear Dynamics. — 2023. — V. 111, № 4. — P. 3525–3537. (0.8125 п.л. / 0.2708 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
23. Zaky M. A., Van Bockstal K., Taha T., Suragan D., **Hendy A. S.** An L1 type difference/Galerkin spectral scheme for variable-order time-fractional nonlinear diffusion–reaction equations with fixed delay // Journal of Computational and Applied Mathematics. — 2023. — V. 420. — P. 114832. (0.875 п.л. / 0.175 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
24. Van Bockstal K., Zaky M. A., **Hendy A.** On the Rothe–Galerkin spectral discretization for a class of variable fractional-order nonlinear wave equations // Fractional Calculus and Applied Analysis. — 2023. — V. 26, № 5. — P. 2175–2201. (1.6875 п.л. / 0.5625 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
25. Omran A., Zaky M., **Hendy A.**, Pimenov V. Numerical algorithm for a generalized form of Schnakenberg reaction–diffusion model with gene expression time delay // Applied Numerical Mathematics. — 2023. — V. 185. — P. 295–310. (1.0 п.л. / 0.25 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
26. Chen H., Qiu W., Zaky M. A., **Hendy A. S.** A two–grid temporal second–order scheme for the two-dimensional nonlinear Volterra integro–differential equation with weakly singular kernel // Calcolo. — 2023. — V. 60, № 1. — P. 13. (1.6875 п.л. / 0.4218 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
27. Cao Y., Zaky M. A., **Hendy A. S.**, Qiu W. Optimal error analysis of space–time second-order difference scheme for semilinear non-local Sobolev-type equations with weakly singular kernel // Journal of Computational and Applied Mathematics. — 2023. — V. 431. — P. 115287. (1.75 п.л. / 0.4375 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)

28. Peng X., Qiu W., **Hendy A. S.**, Zaky M. A. Temporal second-order fast finite difference/compact difference schemes for time-fractional generalized Burgers' equations // Journal of Scientific Computing. — 2024. — V. 99, № 2. — P. 52. (2.3125 п.л. / 0.5781 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
29. Qiao L., Qiu W., Zaky M. A., **Hendy A.** Theta-type convolution quadrature OSC method for nonlocal evolution equations arising in heat conduction with memory // Fractional Calculus and Applied Analysis. — 2024. — V. 27, № 3. — P. 1136–1161. (1.625 п.л. / 0.4062 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
30. R. Wang, L. Qiao, M. A. Zaky, **A. S. Hendy**. A second-order finite difference scheme for nonlinear tempered fractional integrodifferential equations in three dimensions // Numerical Algorithms. — 2024. — V. 95, № 1. — P. 319—349. (1.9375 п.л. / 0.4844 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
31. Srati M., Oulmelk A., Afraites L., Hadri A., Zaky M., **Hendy A.**, Zheng X. Learning primal-dual approach for space-dependent diffusion coefficient identification in fractional diffusion equations // Journal of Computational Physics. — 2025. — V. 523. — P. 113646. (1.875 п.л. / 0.2678 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)
32. Chen H., Zaky M. A., Zheng X., **Hendy A. S.**, Qiu W. Spatial two-grid compact difference method for nonlinear Volterra integro-differential equation with Abel kernel // Numerical Algorithms. — 2025. — V. 98, № 2. — P. 677–718. (2.625 п.л. / 0.525 п.л.) (Scopus Q1, Wos Q1)

свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

33. Омран И., **Хенди А.**, Заки М. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2022613332 «An easy-to-implement linear numerical scheme for fractional reaction-diffusion equations with a prehistoric nonlinear source function». Зарегистрировано 14 марта 2022 г.
34. **Хенди А.**, Заки М. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2022613906 «Galerkin spectral method for space fractional Schrödinger equation». Зарегистрировано 10 марта 2022 г.
35. **Хенди А.**, Заки М. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2022614396 «Effect of memory on spatial fractional quantum couplers with tunable attenuation behavior». Зарегистрировано 21 марта 2022 г.
36. **Хенди А.**, Заки М. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2022614633 «Efficient dissipation-preserving Legendre-Galerkin

spectral method for the Higgs boson equation». Зарегистрировано 23 марта 2022 г.

37. **Хенди А.**, Заки М. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2022615636 «Preserving energy computational approach for the semilinear space fractional Higgs-type field equation». Зарегистрировано 31 марта 2022г.
38. **Хенди А.**, Заки М. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2022615820 «Global consistency analysis of L1-Galerkin spectral schemes for coupled nonlinear in space–time fractional Schrödinger equations». Зарегистрировано 4 апреля 2022 г.
39. **Хенди А.**, Заки М. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2022617211 «Semi-implicit Galerkin-Legendre schemes for nonlinear space–time fractional diffusion-reaction equations with smooth and non-smooth solutions». Зарегистрировано 19 апреля 2022 г.
40. **Хенди А.**, Заки М. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2022616308 «Step-grid discretization for a coupled system of nonlinear multidimensional space–time fractional diffusion equations». Зарегистрировано 8 апреля 2022 г.

На автореферат поступили положительные отзывы от:

Максимова Владимира Петровича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры информационных систем и математических методов в экономике ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (г. Пермь). В отзыве содержатся следующие замечания:

- Одновременное использование символов $\frac{\partial}{\partial t}$ и ∂_t для обозначения производных (см., например, задачу (76), (77), стр.27) вызывает вопросы, тем более что символ ∂ используется в обозначении границы множества.
- Текст автореферата содержит некоторые технические погрешности: опечатки, использование русских и английских слов в рамках одного предложения и т.п. Ограничимся списком соответствующих страниц: 21, 23, 25, 27, 29, 39.

Гомоюнова Михаила Игоревича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника отдела динамических систем и **Тарасьева Александра Михайловича**, доктора физико-математических

наук, заведующего отдела динамических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург). Отзыв не содержит замечаний.

Выбор официальных оппонентов обосновывается известностью их научных достижений, большим научным вкладом и авторитетом в области математического моделирования, численных методов решения дробных дифференциальных уравнений, с которыми связана диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. А именно, выполнена разработка и строгий анализ современных численных методов для дробных и нелокальных математических моделей. Работа направлена на преодоление вычислительных сложностей, связанных с нелокальностью, слабо сингулярными ядрами и нерегулярными решениями, путем построения устойчивых, высокоточных и сохраняющих структуру схем. Предложенные гибридные спектрально-разностные методы обеспечивают сохранение ключевых физических инвариантов и позволяют эффективно изучать сложные системы, возникающие в физике, биологии и инженерии, предоставляя единый и надежный вычислительный каркас для моделирования уравнений дробного порядка.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Диссертация содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора в науку:

1. Создана новая конструкция гибридных численных схем, интегрирующих спектральные методы Лежандра для пространственной дискретизации со стратегиями интегрирования по времени высокого порядка. Эти схемы разработаны для сохранения ключевых физических свойств, таких как энергия, импульс и масса в консервативных системах, а также для точного представления диссипативного поведения в неконсервативных моделях.

Способность этих методов сохранять структуру и достигать долговременной устойчивости отличает их от традиционных подходов.

2. Распространены разностные методы решения, сохраняющие структуру, на различные классы уравнений дробного порядка, содержащих как производные Рисса, так и Капуто, по пространству и по времени. Эта адаптация сохраняет вариационную структуру в дискретной постановке и создаёт основу для вывода методов, применимых к широкому классу физических систем с дробной динамикой.
3. Разработаны новые вычислительные методы для решения многомерных дробных интегро-дифференциальных уравнений со слабо сингулярными ядрами. Сконструированные в работе методы двухсеточной и неявной сплайн-коллокации с переменными направлениями демонстрируют точность второго порядка и вычислительную эффективность в трёхмерном пространстве, что является существенным вкладом в работу с реалистичными моделями, зависящими от памяти.
4. Разработана методология решения задач с негладкими данными и запаздываниями, которые часто присутствуют в реальных приложениях, но трудно поддаются численному анализу. Использование адаптивных временных сеток, методов коррекции и базисных функций, учитывающих сингулярности, гарантирует точность и устойчивость предлагаемых методов в сложных условиях.
5. Разработан новый эффективный инструмент численного анализа, состоящий в использовании дискретных дробных неравенств типа Гронуолла. Эти неравенства служат мощными инструментами для установления априорных границ численных решений и незаменимы для доказательства устойчивости и сходимости схем, содержащих нелокальные производные по времени.
6. Разработанные методы применены к различным реальным проблемам. Показана возможность обобщения и расширения этих методов на широкий спектр сложных моделей, что подчеркивает эффективность и универсальность представленной вычислительной платформы.
7. Разработан и реализован программный комплекс, совместимый с широко используемыми программными средами, такими как MATLAB, Python, Mathematica и библиотеки C++, что гарантирует возможность независимого тестирования, воспроизведения и валидации разработанных методов на различных вычислительных платформах.

Разработанные алгоритмы и программные комплексы могут применяться для численного моделирования сложных физических, биологических и инженерных систем, включая дробное диффузионное явление, пространственно- и временно- дробные модели Шредингера и Клейна–Гордона, реакционно-диффузионные системы с запаздыванием и многомерные интегро-дифференциальные уравнения со слабо сингулярными ядрами. Они также могут использоваться для решения прикладных задач управления, оптимизации и моделирования систем с памятью и наследственными свойствами.

На заседании 15 апреля 2026 г. диссертационный совет УрФУ 1.2.05.22 принял решение присудить Хенди Ахмеду Саиду Абделаизу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 1.2.05.22 в количестве 14 человек, в том числе 11 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней - нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета
УрФУ 1.2.05.22



Ученый секретарь
диссертационного совета
УрФУ 1.2.05.22



Сесекин Александр Николаевич

Елфимова Екатерина Александровна

15.04.2026 г.