

Российской академии наук»,

академик РАН

И. А. Соколов

2023 г.



Заключение

Федерального государственного учреждения

Диссертация «Моделирование динамических систем с интервальными параметрами» выполнена в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», в отделе 27.

В период подготовки диссертации соискатель Морозов Александр Юрьевич работал в отделе 27 «Математическое моделирование гетерогенных систем» Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН) в должности научного сотрудника с 2019 года по 2023 гг.

В 2015 г. Морозов А. Ю. закончил с отличием Московский авиационный институт (МАИ) (национальный исследовательский университет) по специальности «Прикладная математика и информатика» и аспирантуру МАИ в 2018 году по научной специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». В 2019 г. в МАИ защитил кандидатскую диссертацию на тему «Алгоритмы адаптивной интерполяции для моделирования динамических систем с интервальными параметрами». С 2017 года по 2019 год работал инженером-программистом в АО «ИнфоРус». С 2019 года по настоящее время работает в ФИЦ ИУ РАН в должности научного сотрудника. С 2018 года работает по совместительству в МАИ в настоящее время в должности доцента.

С 2021 года работает по совместительству на Факультете вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова в настоящее время в должности доцента.

По результатам рассмотрения диссертации «Моделирование динамических систем с интервальными параметрами» принято следующее заключение:

1. Моделирование динамических систем с интервальными параметрами является актуальной научной задачей.

2. Все результаты представленной диссертационной работы получены соискателем самостоятельно.

3. Проведенные исследования выполнены автором на высоком научном уровне.

4. Научная новизна диссертации заключается в следующем:

- Разработан интерполяционный подход к решению задач моделирования динамических систем с интервальными параметрами.
- Разработан вариант алгоритма адаптивной интерполяции на основе использования разложения в тензорный произведение для решения задач моделирования динамических систем с большим количеством интервальных параметров.
- Разработан вариант алгоритма адаптивной интерполяции на основе разреженных сеток для решения задач моделирования динамических систем с небольшим и средним количеством интервальных параметров. Доказана теорема о прямо пропорциональной зависимости глобальной погрешности алгоритма на основе разреженных сеток от уровня разреженной сетки.
- Разработан интервальный подход к решению задачи параметрической идентификации динамических систем на основе интерполяционного подхода. Сформулированы три варианта постановки задачи. Доказана теорема о том, что если минимум целевой функции, минимизация которой эквивалентна решению задачи параметрической идентификации в интервальной постановке, достигается на определенных интервальных оценках параметров, то и на более широких оценках он тоже будет достигаться. Доказана теорема о том, что если параметрические множества состояний динамической системы являются выпуклыми, то при решении задачи параметрической идентификации вместо экспериментальных интервальных оценок можно рассматривать только крайние точки этих оценок.

- Разработан алгоритм подвижного окна для параметрической идентификации динамических систем с прямоугольными и эллипсоидными областями неопределенности параметров.
- Разработаны интервальные математические модели, которые позволяют решить ряд задач из области вычислительного материаловедения, химической кинетики, небесной механики, микроэлектроники и др.

5. Достоверность и обоснованность результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается строгостью математических постановок и выкладок, тестированием вычислительных алгоритмов и реализующего их программного обеспечения, согласованностью результатов проведенных вычислительных экспериментов с результатами, полученными с использованием других методов и программных комплексов.

6. Научная и практическая значимость работы состоит в том, что разработанные подходы и алгоритмы на их основе, а также созданный программный комплекс могут использоваться для решения ряда актуальных практических и исследовательских задач из области материаловедения, химической кинетики, газовой динамики, небесной механики и электроники, в том числе для решения задач, содержащих дробно-дифференциальные уравнения, и задач моделирования динамических систем, в которых имеют место бифуркации и динамический хаос.

7. Основное содержание диссертационной работы опубликовано автором достаточно полно в следующих работах:

Публикации в журналах из Перечня ВАК и из МСЦ

1. Морозов А. Ю., Ревизников Д. Л. Модификация методов решения задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений с интервальными параметрами // Труды МАИ. 2016. № 89. С. 1–20.
2. Морозов А. Ю., Ревизников Д. Л. Алгоритм адаптивной интерполяции на основе kd-дерева для численного интегрирования систем ОДУ с интервальными начальными условиями // Дифференциальные уравнения. 2018. Т. 54. № 7. С. 963–974. DOI: 10.1134/S0374064118070130. (WoS, Scopus)
3. Морозов А. Ю., Ревизников Д. Л., Гидаспов В. Ю. Алгоритм адаптивной интерполяции на основе kd-дерева для решения задач химической кинетики с интервальными параметрами // Математическое моделирование. 2018. Т. 30. № 12. С. 129–144. DOI: 10.31857/S023408790001940-8. (Scopus)

4. Morozov A. Yu., Reviznikov D. L. Modelling of Dynamic Systems with Interval Parameters on Graphic Processors // *Programmnaya Ingeneria*. 2019. Vol. 10. № 2. P. 69–76. DOI: 10.17587/prin.10.69-76.
5. Morozov A. Yu., Reviznikov D. L. Modeling of Dynamic Systems with Interval Parameters in the Presence of Singularities // *Russian Journal of Nonlinear Dynamics*. 2020. Vol. 16. № 3. P. 479–490. DOI: 10.20537/nd200306. (Scopus)
6. Морозов А. Ю., Журавлев А. А., Ревизников Д. Л. Анализ и оптимизация алгоритма адаптивной интерполяции численного решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений с интервальными параметрами // *Дифференциальные уравнения*. 2020. Т. 56. № 7. С. 960–974. DOI: 10.1134/S0374064120070122. (WoS, Scopus)
7. Morozov A. Yu., Reviznikov D. L. Adaptive Interpolation, TT-Decomposition and Sparse Grids for Modeling Dynamic Systems with Interval Parameters. Chapter 19 in book *Applied Mathematics and Computational Mechanics for Smart Applications. Proceedings of AMMAI 2020. Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2021. Vol. 217. Springer. P. 271–286. DOI: 10.1007/978-981-33-4826-4_19. (Scopus)
8. Morozov A. Yu., Zhuravlev A. A., Reviznikov D. L. Sparse Grid Adaptive Interpolation in Problems of Modeling Dynamic Systems with Interval Parameters // *Mathematics*. 2021. Vol. 9. № 4. Article 298. DOI: 10.3390/math9040298. (WoS, Scopus)
9. Морозов А. Ю., Ревизников Д. Л. Алгоритм адаптивной интерполяции на разреженных сетках для численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений с интервальными неопределенностями // *Дифференциальные уравнения*. 2021. Т. 57. № 7. С. 976–987. DOI: 10.31857/S0374064121070104. (WoS, Scopus)
10. Морозов А. Ю. Параллельный алгоритм адаптивной интерполяции на основе разреженных сеток для моделирования динамических систем с интервальными параметрами // *Программная инженерия*. 2021. Т. 12. № 8. С. 395–403. DOI: 10.17587/prin.12.395-403.
11. Гидаспов В. Ю., Морозов А. Ю., Ревизников Д. Л. Алгоритм адаптивной интерполяции с использованием ТТ-разложения для моделирования динамических систем с интервальными параметрами // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2021. Т. 6. № 9. С. 1416–1430. DOI: 10.31857/S0044466921090106. (WoS, Scopus)
12. Морозов А. Ю., Ревизников Д. Л. Интервальный подход к решению задач параметрической идентификации динамических систем // *Дифференциальные*

- уравнения. 2022. Т. 58. № 7. С. 962–976. DOI: 10.31857/S0374064122070081. (WoS, Scopus)
13. Морозов А. Ю. Параллельный алгоритм параметрической идентификации динамических систем с интервальными параметрами // Программная инженерия. 2022. Т. 13. № 10. С. 497–507. DOI: 10.17587/prin.13.497-507.
 14. Капралов Н. С., Морозов А. Ю., Никулин С. П. Параллельная аппроксимация многомерных тензоров с использованием графических процессоров // Программная инженерия. 2022. Т. 13. № 2. С. 94–101. DOI: 10.17587/prin.13.94-101. (Scopus)
 15. Morozov A. Yu., Abgaryan K. K., Reviznikov D. L. Interval Model of a Memristor Crossbar Network // Physica status solidi (b). 2022. Vol. 269. № 11. 2200150. DOI: 10.1002/pssb.202200150. (WoS, Scopus)
 16. Морозов А. Ю., Абгарян К. К., Ревизников Д. Л. Имитационное моделирование аналоговой импульсной нейронной сети на основе мемристорного кроссбара с использованием параллельных вычислительных технологий // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2022. Т. 25. № 4. С. 288–297. DOI: 10.17073/1609-3577-2022-4-288-297. (Scopus)
 17. Морозов А. Ю. Алгоритм адаптивной интерполяции для решения задач небесной механики с интервальными неопределенностями // Труды МАИ. 2022. № 123. С. 1–23. DOI: 10.34759/trd-2022-123-24.
 18. Морозов А. Ю. Интерполяционный подход в задачах моделирования динамических систем с эллипсоидными оценками параметров // Труды МАИ. 2022. № 124. С. 1–24. DOI: 10.34759/trd-2022-124-24.
 19. Морозов А. Ю., Ревизников Д. Л. Алгоритм подвижного окна для параметрической идентификации динамических систем с прямоугольными и эллипсоидными областями неопределенности параметров // Дифференциальные уравнения. 2023. Т. 59. № 6. С. 814–827. DOI: 10.31857/S0374064123060110. (WoS, Scopus)
 20. Морозов А. Ю. Идентификация интервальных констант скоростей химической реакции окисления нафталина // Моделирование и анализ данных. 2023. Т. 13. № 3. С. 66–78. DOI: 10.17759/mda.2023130305.
 21. Morozov A. Yu., Reviznikov D. L. Adaptive sparse grids with nonlinear basis in interval problems for dynamical systems // Computation. 2023. Vol. 11. № 8. Article 149. DOI: 10.3390/computation11080149. (WoS, Scopus)

Монографии

22. Морозов А. Ю., Ревизников Д. Л. Методы компьютерного моделирования динамических систем с интервальными параметрами. М.: Изд-во МАИ, 2019. 160 с.

Свидетельства о государственной регистрации программ

23. Морозов А. Ю. Программа для численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений с интервальными начальными условиями // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018664623 от 20 ноября 2018 г
24. Морозов А. Ю. Программа для интервальной параметрической идентификации динамических систем // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022668591 от 10 октября 2022 г.

Диссертация «Моделирование динамических систем с интервальными параметрами» Морозова Александра Юрьевича полностью соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заключение принято единогласно на заседании семинара отдела № 27 ФИЦ ИУ РАН. Присутствовало на заседании 10 человек. Результаты голосования: «за» – 10 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Протокол № 6 от «12» декабря 2023 г.

Руководитель семинара
зав. отдела 27, г.н.с.
д.ф.-м.н.



К. К. Абгарян
12.12.2023