

УТВЕРЖДАЮ



Проректор
по научной работе, к.ф.-м.н.

Баган Виталий
Анатольевич

«05» сентября 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ, Физтех)

Диссертация «Снижение размерности в задачах мультимоделирования динамических систем» выполнена на кафедре интеллектуальных систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки диссертации с 2022 г. по настоящее время соискатель **Тихонов Денис Максимович** работал на кафедре интеллектуальных систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» в должности ассистента.

В 2022 г. Тихонов Д.М. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика. В 2026 г. окончил МФТИ по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре «Компьютерные науки и информатика».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2025 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Стрижов Вадим Викторович. Основное место работы – ООО «Форексис», научно-исследовательский отдел, старший научный сотрудник.

По итогам обсуждения диссертации «Снижение размерности в задачах мультимоделирования динамических систем» **принято следующее заключение.**

Тема диссертации является актуальной для развития методологии снижения размерности и восстановления пространств состояний сложных динамических систем на основе методов машинного обучения, поскольку прямое численное моделирование физических, биологических и технических процессов сталкивается с высокой вычислительной сложностью, «проклятием размерности» и неинтерпретируемостью моделей при большом числе параметров. Разработанные методы позволяют строить устойчивые, компактные и топологически эквивалентные подпространства малой размерности, существенно снижая вычислительные затраты на прогнозирование, функциональный анализ, оценку состояния и управление системами в реальном времени в условиях зашумлённых измерений и ограниченных данных.

Цели и задачи диссертации:

1. Исследовать способы решения задачи восстановления пространства состояний динамических систем по набору временных рядов с использованием инструментов тензорной алгебры.
2. Теоретически обосновать применимость полилинейных отображений, снижающих размерность пространств состояний, для многомерных временных рядов.
3. Предложить методы снижения размерности пространств состояний, обобщающие метод анализа сингулярного спектра и учитывающие внутренние зависимости компонент временных рядов.
4. Предложить способ построения интерпретируемой модели, восстанавливающей неизвестные зависимости динамических систем с малым числом параметров.

Основные результаты диссертации:

1. Исследована проблема восстановления пространств состояний динамической системы по многомерным наблюдаемым временным рядам. Предложен полилинейный метод снижения размерности пространств состояний.
2. Исследованы свойства предлагаемых методов. Доказаны теоремы о полилинейном вложении метода задержек для многомерных временных рядов.
3. Предложены полилинейные методы снижения размерности набора пространств состояний. Предлагаемые методы сохраняют свойства исходных систем и учитывают нелинейные связи наблюдаемых временных рядов.
4. Предложен метод построения интерпретируемой нелинейной модели, восстанавливающий приближённый вид дифференциальных уравнений, описывающих динамическую систему.
5. Разработан алгоритм построения полилинейной модели с малым числом параметров, оптимизированной с помощью тензорных разложений.

Проведены вычислительные эксперименты, подтверждающие эффективность предложенных методов.

Все *результаты диссертации получены лично соискателем* при научном руководстве доктора физико-математических наук Стрижова В.В.

Научная новизна работы заключается в том, что представленный полилинейный подход к снижению размерности и восстановлению пространства состояний динамических систем впервые обеспечивает сохранение топологических свойств и линейный рост числа параметров благодаря применению тензорных разложений и тензорного расширения T-SINDy. Доказанные теоремы о полилинейном вложении дают теоретическое обоснование корректности тензорных отображений пространств задержек, теоремы о полиномиальном виде и векторной авторегрессии показывают связь с уже существующими эффективными способами прогнозирования временных рядов.

Практическая ценность результатов диссертации заключается в том, что разработанные методы и алгоритмы ориентированы на восстановление фазовых пространств и построение интерпретируемых разреженных моделей в условиях зашумлённых измерений и неполноты данных. Они применимы для широкого круга прикладных задач прогнозирования и управления физическими, биологическими и техническими системами, включая обработку данных акселерометров, моделирование гидродинамических течений и идентификацию параметров систем. Таким образом, предложенный инструментарий может быть полезен другим научным группам для исследования интересующих их сложных динамических систем.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов

Достоверность результатов подтверждена математическими доказательствами, экспериментальной проверкой полученных методов на реальных задачах; публикациями результатов исследования в рецензируемых научных изданиях. Результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных научных конференциях по анализу данных и исследованию операций.

Материалы диссертации опубликованы соискателем достаточно полно в следующих работах:

1. Тихонов Д.М., Стрижов В.В. Объединение пространств состояний динамической системы через полилинейное отображение // Труды Института системного программирования РАН, том 38, вып. 6, часть 1, 2026, стр. 63-72.
2. Тихонов Д.М., Стрижов В.В. Тензорное разреженное восстановление дифференциальных уравнений нелинейных динамических систем // Моделирование и анализ информационных систем. 2026; Том 33(3):344-357.
3. Тихонов Д.М. Полилинейное отображение для мульти-моделирования динамических систем // Труды МФТИ. 2026; Том 18, №2(70): 88-97.

4. Tikhonov D.M., Strijov V.V. Dynamic system reconstruction from multivariate time series via multilinear map and time delay embedding. // International Conference on Computational Optimization, 2024, <https://openreview.net/forum?id=xYkLT5f6O0>

5. Тихонов Д.М. Восстановление зашумленных значений многомерных временных рядов с помощью тензорного метода задержек и тензорного разложения // 66-я Всероссийская научная конференция Московского физико-технического института: тезисы докладов. Прикладная математика и информатика. – 2024. – С. 128–130.

6. Тихонов Д.М. – Классификация квазипериодических временных сигналов с помощью сферических гармоник // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2022», 2022.

Личный вклад соискателя в работах с соавторами заключается в следующем:

[1-6]: постановка задачи, разработка методов машинного обучения, постановка численных вычислительных экспериментов, анализ результатов, подготовка материалов к публикации.

Основные результаты работы были представлены на следующих научных конференциях и семинарах:

1. IX Международная конференция Иванниковские чтения, 2026.
2. 68-я Всероссийская научная конференция МФТИ, Москва, 2026.
3. International Conference on Computational Optimization, Казань, 2024.
4. 66-я Всероссийская научная конференция МФТИ, Москва, 2024.
5. 64-я Всероссийская научная конференция МФТИ, Москва, 2022.
6. Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», МГУ, Москва, 2022.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, в частности, пунктам:

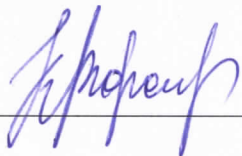
- п. 1 – Естественные-научные основы и методы искусственного интеллекта.
- п. 4 – Разработка методов, алгоритмов и создание систем искусственного интеллекта и машинного обучения для обработки и анализа текстов на естественном языке, для изображений, речи, биомедицины и других специальных видов данных.
- п. 5 – Методы и технологии поиска, приобретения и использования знаний и закономерностей, в том числе – эмпирических, в системах искусственного интеллекта. Исследования в области совместного применения методов машинного обучения и классического математического моделирования. Методы и средства использования экспертных знаний.
- п. 15 – Математические исследования в области статистики, логики, алгебры, топологии, анализа функции и других областях, ориентированные на решение задач искусственного интеллекта и машинного обучения.

- п. 16 – Исследования в области специальных методов оптимизации, проблем сложность и элиминации перебора, снижения размерности.

Диссертация соискателя Тихонова Дениса Максимовича соответствует требованиям пунктов 9, 10 и 14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

Диссертация «Снижение размерности в задачах мультимоделирования динамических систем» **Тихонова Дениса Максимовича** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности **1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение.**

Заключение принято на заседании кафедры интеллектуальных систем МФТИ, Физтех. Присутствовало на заседании 13 человек. Результаты голосования: «за» – 13 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол №1 от 5 октября 2026 года.



Воронцов Константин Вячеславович,
доктор физико-математических наук,
профессор РАН,
заведующий кафедрой
интеллектуальных систем МФТИ