

**Заключение диссертационного совета ИПМАШ 2.3.1.
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

Решение диссертационного совета от «20» мая 2025 г. №1

О присуждении **Лазовской Татьяне Валерьевне** ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы анализа сложных систем по разнородной информации на основе нейросетевых и нейроморфных моделей» по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 18 марта 2025 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом ИПМАШ 2.3.1.

Соискатель Лазовская Татьяна Валерьевна, 1985 года рождения, в 2007 г. окончила Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по специальности «Математика», специализация 01.01.05 «Теория вероятностей и математическая статистика», а в 2009 г. получила там же степень магистра математики и механики по направлению 01.10.00 «Механика. Прикладная математика», специализация «Биостатистика».

Соискатель работает старшим преподавателем кафедры высшей математики Института физики и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Диссертация выполнена в Физико-Механическом Институте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Научный руководитель – Тархов Дмитрий Альбертович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры высшей математики Института физики и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Официальные оппоненты:

Купцов Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории теоретической нелинейной динамики, Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук;

Карандашев Яков Михайлович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель Центра оптико-нейронных технологий, ФГАУ «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований» НИЦ «Курчатовский институт»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Бухановским Александром Валерьевичем, доктором технических наук, директором мегафакультета трансляционных информационных технологий, руководителем Национального центра когнитивных разработок и исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта «Сильный искусственный интеллект в промышленности», профессором факультета технологий искусственного интеллекта федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», и утвержденном Никифоровым Владимиром Олеговичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе, указала, что актуальность темы диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, не вызывает сомнений. Определяется необходимостью разработки новых методов системного анализа и обработки информации в задачах адаптивного моделирования сложных динамических систем. Разнообразие данных, усложнение моделируемых процессов и требования к учёту физических закономерностей обостряют потребность в подходах, объединяющих принципы математического моделирования, управления и интеллектуальной обработки информации. Нейросетевые модели и гибридные методы, предложенные автором, обеспечивают возможность динамической настройки моделей в зависимости от изменяющихся характеристик систем, что существенно расширяет их область применимости. Таким образом, диссертационное исследование органично вписывается в современные научные задачи.

Соискатель имеет 84 опубликованные работы. В том числе по теме диссертации опубликовано 78 работ, из них 25 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете ИПМАШ 2.3.1; 16 – в журналах, рекомендованных ВАК (включая 1 патент с государственной регистрацией), 14 – в журналах и докладах конференций, которые индексируются международными наукометрическими базами Scopus и Web of Science, 48 – в тезисах докладов.

Перечень наиболее значимых публикаций Т.В. Лазовской:

В изданиях, рекомендованных ВАК и приравненных к ним.

1. Лазовская Т. В., Тархов Д. А., Шемякина Т. А., Чориев М. Д. Эволюционный подход к формированию архитектуры PINN для приближенного решения уравнения Лапласа в двух постановках: с разрывным краевым условием и данными измерений внутри квадратной области // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2023. – Т. 19, № 2. – С. 438-446.
2. Lazovskaya T.V., Tarkhov D.A., Bortkovskaia M.R., Kaverzneva T.T., Kudryavtseva V.V., Kozhanova P.A., Chernaya E.S. Comparative analysis of hybrid neural network and multilayer modeling the deflection of a circular membrane under the action of a load located asymmetrically relatively to its center // Computing, Telecommunications and Control. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 38-48. (К-2)
3. Васильев А.Н., Гороховская В.А., Корчагин А.П., Лазовская Т.В., Тархов Д.А., Чернуха Д.А. Исследование прогностических возможностей многослойной нейроморфной модели, управляемой данными, на примере осциллятора Дуффинга // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2021. – Т. 17, № 3. – С. 625-632.
4. Васильев А.Н., Лазовская Т.В., Тархов Д.А. Аппроксимация функций Бесселя методом построения многослойных решений дифференциальных уравнений // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Т. 16, № 2. – С. 273-284.
5. Borovskaya O.D., Lazovskaya T.V., Skolis X.V., Tarkhov D.A., Vasilyev A.N. Multilayer parametric models of processes in a porous catalyst pellet // Modern Information Technologies and IT-Education. – 2018. – Т. 14, № 1. – С. 27-37.
6. Васильев А.Н., Тархов Д.А., Болгов И.П., Каверзнева Т.Т., Колесова С.А., Лазовская Т.В., Лукинский Е.В., Петров А.А., Филькин В.М. Многослойные нейросетевые модели процессов деформации и разрушения образцов на основе экспериментальных данных // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2016. – Т. 12, № 1. – С. 6-14.
7. Лазовская Т.В., Тархов Д.А. Использование асимптотических решений при построении нейросетевой модели в жесткой задаче // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – Т. 11, № 2. – С. 261-266.
8. Идрисова Д.И., Каверзнева Т.Т., Тархов Д.А., Лазовская Т.В. Моделирование распределения опасного вещества в тупиковом тоннеле с использованием нейросетевого подхода // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – Т. 11, № 2. – С. 297-300.

9. Березовская Г.А., Лазовская Т.В., Клокова Е.С., Карпенко М.А., Петрищев Н.Н. Способ прогнозирования возобновления клиники ишемической болезни сердца с помощью нейронных сетей у пациентов после эндоваскулярного вмешательства: пат. RU 2675067 С1 Российская Федерация: № 2017132653; заявл. 18.09.2017; опубл. 14.12.2018. (Патент)

В журналах и докладах конференций, которые индексируются международными наукометрическими базами Scopus и Web of Science.

10. Tarkhov D., Lazovskaya T., Malykhina G. Constructing physics-informed neural networks with architecture based on analytical modification of numerical methods by solving the problem of modelling processes in a chemical reactor // *Sensors*. – 2023. – № 23. – С. 663.

11. Lazovskaya T., Tarkhov D., Chistyakova M., Sergeeva A., Shemyakina T. Evolutionary PINN learning algorithms inspired by approximation to Pareto front for solving ill-posed problems // *Computation*. – 2023. – Т. 11, № 8. – С. 166.

12. Tarkhov D., Lazovskaya T., Antonov V. Adapting PINN models of physical entities to dynamical data // *Computation*. – 2023. – Т. 11, № 9. – С. 168.

13. Lazovskaya T., Tarkhov D., Malykhina G. Physics-based neural network methods for solving parameterized singular perturbation problem // *Computation*. – 2021. – Т. 9, № 9.

14. Tarkhov D.A., Lavygin D.A., Skripkin O.A., Zakirova M.D., Lazovskaya T.V. Optimal control selection for stabilizing the inverted pendulum problem using neural network method // *Optical Memory and Neural Networks*. – 2023. – Т. 32, № S2. – С. S214-S225.

15. Vasilyev A., Tarkhov D., Lazovskaya T. Comparison of multilayer methods of solutions to the spectral Cauchy problem for the wave equation // *Communications in Computer and Information Science*. – 2021. – Т. 1204. – С. 238-250.

16. Lazovskaya T., Tarkhov D., Vasilyev A. Multi-layer solution of heat equation // *Studies in Computational Intelligence*. – 2018. – Т. 736. – С. 17-22.

17. Lazovskaya T.V., Tarkhov D.A., Berezovskaya G.A., Petrishchev N.N., Zulkarnay I.U. Possibilities of neural networks for personalization approaches for prevention of complications after endovascular interventions // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2017. – Т. 10261 LNCS. – С. 379-385.

18. Budkina E.M., Kuznetsov E.B., Lazovskaya T.V., Tarkhov D.A., Shemyakina T.A., Vasilyev A.N. Neural network approach to intricate problems solving for ordinary differential equations // *Optical Memory and Neural Networks*. – 2017. – Т. 26, № 2. – С. 96-109.

19. Lazovskaya T.V., Tarkhov D.A., Vasilyev A.N. Parametric neural network modeling in engineering // Recent Patents on Engineering. – 2017. – Т. 11, № 1. – С. 10-15.

20. Budkina E.M., Kuznetsov E.B., Leonov S.S., Lazovskaya T.V., Tarkhov D.A., Vasilyev A.N. Neural network technique in boundary value problems for ordinary differential equations // Lecture Notes in Computer Science. – 2016. – Т. 9719. – С. 277-283.

21. Gorbachenko V.I., Zhukov M.V., Lazovskaya T.V., Tarkhov D.A., Vasilyev A.N. Neural network technique in some inverse problems of mathematical physics // Lecture Notes in Computer Science. – 2016. – Т. 9719. – С. 310-316.

Подготовка основных публикаций проводилась совместно с соавторами, при этом вклад Т.В. Лазовской был основным.

Личный вклад автора заключается в раз работке эффективных подходов и алгоритмов для построения нейросетевых моделей сложных систем, включая разработку нового типа нейроморфных моделей с архитектурой, обусловленной физикой, и методов их построения. Автор провел сравнительный анализ конечноэлементных, нейросетевых, гибридных моделей и моделей на основе аналитической модификации численных методов, разработал и протестировал эволюционные алгоритмы обучения и построения физически информированных нейросетевых моделей на основе приближения к фронту Парето. Также автор разработал методы построения нейроморфных моделей на основе дифференциальных уравнений в частных производных и провел вычислительные эксперименты с последующим анализом полученных результатов. Все положения диссертации, выносимые на защиту, получены соискателем самостоятельно и подтверждены публикациями и докладами на конференциях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана и протестирована нейросетевая модель прогноза осложнений после эндоваскулярных вмешательств. Модель показала достаточную точность и интерпретируемость, что подтверждает ее практическую значимость для медицинской практики.

Разработан новый тип нейроморфных моделей на основе аналитической модификации численных методов с архитектурой, основанной на физике

Получены результаты сравнительного анализа конечноэлементных, нейросетевых, гибридных моделей и новых нейроморфных моделей на примере задачи с пограничным слоем. Показаны преимущества разработанных моделей.

Разработан метод построения многослойной сети прямого распространения с архитектурой, основанной на физике, на основе аналитической модификации численных методов. Применение метода к конкретным задачам показало высокую точность и устойчивость моделей.

Разработаны эволюционные алгоритмы построения физически информированных нейросетевых моделей на основе приближения к фронту Парето. Алгоритмы показали высокую эффективность и адаптивность при тестировании на двух некорректных задачах.

Получены результаты сравнительного анализа адаптивных свойств непараметрических и параметрических нейросетевых моделей. Выявлены преимущества и области применения каждого типа моделей.

Разработан метод построения приближенных нейроморфных решений с архитектурой, основанной на физике, уравнений в частных производных. Применение метода к решению уравнений теплопроводности и волнового уравнения показало высокую точность и эффективность.

На диссертацию и автореферат поступило 5 дополнительных отзывов, все положительные:

1. Отзыв заведующего кафедрой «Компьютерные технологии» Пензенского государственного университета, доктора технических наук, профессора Горбаченко В.И.

2. Отзыв профессора кафедры информационных систем и математических методов в экономике Пермского государственного национального исследовательского университета, доктора технических наук Ясницкого Л.Н.

3. Отзыв профессора кафедры «Динамика полета и управление» Московского Авиационного Института (национальный исследовательский университет), доктора технических наук, доцента Тюменцева Ю.В.

4. Отзыв главного научного сотрудника, заведующего сектором математического моделирования Главной Астрономической Обсерватории РАН, доктора технических наук, доктора физико-математических наук Макаренко Н.Г.

5. Отзыв профессора МАИ, доктора физико-математических наук, профессора Кузнецова Е.Б.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что оппоненты являются компетентными и авторитетными учеными, и имеют публикации, соответствующие теме диссертации, в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет в области анализа и нейросетевого моделирования сложных систем.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Университет ИТМО является признанным научным центром в области прикладной математики, искусственного интеллекта и моделирования сложных систем. В университете ведутся активные исследования в области разработки интеллектуальных алгоритмов, нейросетевых и нейроморфных моделей, методов анализа киберфизических систем и цифровых двойников, что непосредственно соответствует тематике диссертационного исследования.

Диссертационная работа представляет собой самостоятельное завершённое исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, включают новые научные результаты и отражают личный вклад автора в развитие направления: разработаны методы построения физически-информированных нейросетевых моделей и нейроморфных архитектур, обеспечивающих компактность и адаптивное моделирование сложных систем; предложены оригинальные алгоритмы обучения и структурной оптимизации, основанные на принципах Парето; выполнен сравнительный анализ различных классов моделей и продемонстрирована применимость разработанных подходов для задач с высокой степенью неопределённости и структурной сложности.

Диссертация Лазовской Татьяны Валерьевны «Методы анализа сложных систем по разнородной информации на основе нейросетевых и нейроморфных моделей», является законченной научно-квалификационной работой, полностью соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Лазовская Т. В., заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

На заседании 20 мая 2025 г. Диссертационный совет ИПМАШ 2.3.1. принял единогласное решение за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области анализа и моделирования сложных систем, присудить Лазовской Татьяне Валерьевне ученую степень кандидата технических

наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 9 человек (в удаленном интерактивном режиме присутствовало 6 человек), из них 9 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены в разовую защиту 0 человек проголосовали: за присуждение ученой степени – 9, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.



Председатель
диссертационного совета ИПМАН 2.3.1.,
доктор технических наук, профессор
М.П.

Ученый секретарь
диссертационного совета ИПМАН 2.3.1.,
доктор технических наук, профессор

Фрадков
Александр Львович

Фуртат
Игорь Борисович

Дата оформления заключения: 20.05.2025 г.