



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе,
доктор технических наук, профессор

В.О. Никифоров

«30» 04 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», на диссертацию **Лазовской Татьяны Валерьевны** на тему: «**Методы анализа сложных систем по разнородной информации на основе нейросетевых и нейроморфных моделей**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы диссертации Т. В. Лазовской не вызывает сомнений определяется необходимостью разработки новых методов системного анализа и обработки информации в задачах адаптивного моделирования 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.

Новизна исследований и полученных результатов состоит в разработке методов и алгоритмов анализа и построения моделей систем по разнородной информации, а именно:

1. Предложен новый тип нейроморфных моделей, которые в комбинации с традиционными нейронными сетями прямого распространения образуют новый тип глубоких нейронных сетей с архитектурой, основанной на физике, и разработан метод их построения на основе трансформирования обыкновенных дифференциальных уравнений, для решения задач системного анализа.

2. Разработаны новые алгоритмы управления структурой нейронной сети в процессе её обучения на основе предложенных новых эволюционных алгоритмов, использующих управляемую мутацию и отбор на основе приближения к фронту Парето.

Основные результаты диссертации опубликованы в 78 печатных работах, из них 16 статей в изданиях из перечня ВАК, 14 статей в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science, включая 5 статей в журналах квартилей Q1-Q2.

Результаты работы были представлены в виде научных докладов на ведущих международных и российских конференциях.

Практическая значимость работы проявляется в возможности применения разработанных моделей для оптимизации инженерных процессов, мониторинга состояния технических объектов и создания предиктивных систем управления при гетерогенных, ограниченных или частично известных данных. Предложенные подходы уже нашли применение в области персонализированной медицины.

Достоверность и степень обоснованности научных положений и выводов диссертации основана на точности математических формулировок и выкладок, проверкой вычислительных алгоритмов, обеспечивается соответствием результатов данным реальных и синтетических измерений, а также результатам, полученным с использованием альтернативных подходов, на наборе тестовых и прикладных задач.

Следует отметить, что диссертантом проведены дополнительные исследования, обосновывающие достоверность и применимость ее результатов, в том числе, обоснованы критерии выбора обычной или параметрической нейронной сети при моделировании и прогнозе динамики объектов, изменяющейся по неизвестному закону, на основе сравнительного анализа адаптивных свойств предложенных типов нейронных сетей.

Автореферат диссертационной работы в полной мере соответствует её содержанию, точно передает основные положения, результаты исследования и их научно-практическую значимость.

Структура диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к работам подобного уровня: изложение материала обладает внутренней логикой, главы связаны единой концепцией исследования.

Первая глава посвящена постановке задачи исследования, определению актуальности темы, связанной с необходимостью создания адаптивных моделей сложных систем на основе анализа разнородной информации. Рассматриваются концепции цифровых двойников и киберфизических систем, а также ограничения традиционных методов моделирования и преимущества физически информированных нейросетевых подходов.

Вторая глава описывает применение нейросетевых методов в медицинских задачах прогнозирования, в частности разработку нейросетевой модели для оценки риска осложнений после эндоваскулярных вмешательств (хотя смысл

позиционирования этого исследования в диссертации не очень понятен). Проведено моделирование нелинейных процессов системы гомеостаза с использованием теста генерации тромбина, а также верификация моделей с применением ROC-анализа.

Третья глава посвящена разработке и сравнению нейросетевых и гибридных моделей для решения дифференциальных задач. Представлены методы аналитической модификации численных методов и их интеграция с нейросетевыми моделями для повышения устойчивости и адаптивности в решении задач с пограничным слоем.

Четвертая глава содержит описание нового класса нейросетевых моделей с архитектурой, обусловленной физикой объекта. Представлены этапы построения, начальной аппроксимации и дальнейшего обучения моделей, а также примеры применения для решения эталонных дифференциальных задач.

Пятая глава посвящена разработке новых эволюционных алгоритмов обучения нейросетевых моделей. Предложены методы формирования совокупности решений, близких к фронту Парето, для многокритериальных задач моделирования.

Шестая глава представляет сравнительный анализ адаптивных свойств непараметрических и параметрических физически-информированных нейросетевых моделей. Показаны особенности их применения для задач с изменяющимися параметрами и функционированием, сформулированы рекомендации по выбору модели в зависимости от характера задачи и доступных данных.

Седьмая глава рассматривает методы построения приближённых решений задач в частных производных на основе аналитической модификации численных методов. Показаны примеры построения эффективных компактных моделей для

уравнения теплопроводности и волнового уравнения с последующим применением в задачах цифрового моделирования.

В заключении диссертационной работы подведены итоги выполненного исследования, сформулированы основные научные результаты и практические выводы.

По диссертации имеются следующие замечания.

- 1) В работе используется понятие «сложная система», которое отличается от канонического в данной области знания. Под сложной системой (complex system) в мировой научной литературе понимают систему, состоящую из большого количества компонентов, взаимодействующих по сложной топологии (потенциально «каждый-с-каждым») и обладающую эмерджентным поведением по типу фазового перехода. Такие системы в диссертации не рассмотрены. Однако по мере прочтения становится ясным, что диссертант имел в виду собственное «бытовое» определение, что «сложная система – это система, которая сложнее, чем она выглядит». Под словом «выглядит» тут понимается форма модели в виде дифференциального уравнения, которая используется для описания системы в условиях неопределенности. Конечно, автор может использовать любые понятия, но тогда это необходимо определять в начале изложения.
- 2) В диссертации все демонстрационные примеры имеют очень небольшие размеры сеток, что явно не стимулировало исследования в части оценки вычислительной эффективности. Потому не ясно, как поведут себя предложенные алгоритмы при работе с действительно масштабными задачами, и будут ли они лучше классических нейросетей (для которых сейчас 1 млрд. узлов – совсем не впечатляет). А также из изложения не очевидно, являются ли предложенные

нейроморфные конструкции более вычислительно эффективными, чем обычные нейросети при одинаковом количестве узлов?

- 3) Структура диссертации выстроена очень неудачно, поскольку главы, содержащие научную quintэссенцию работы, перемежаются главами сугубо вспомогательного характера. Так, представление во второй главе описания медицинской системы на классическом нейросетевом подходе никак не сказывается на научных результатах диссертации по специальности 2.3.1, и может считаться избыточным.

В целом указанные замечания снижают общее качество диссертации, но не опровергают ее **положительной оценки**.

Заключение.

Диссертационная работа выполнена на удовлетворительном научном уровне и представляет собой законченный научный труд. Научные результаты, полученные диссертантом, имеют определенную ценность для теории и практики анализа и моделирования систем.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Диссертация Лазовской Татьяны Валерьевны «Методы анализа сложных систем по разнородной информации на основе нейросетевых и нейроморфных моделей» 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 Татьяна Валерьевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Отзыв рассмотрен и одобрен на семинаре исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта «Сильный искусственный интеллект в промышленности» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», протокол №4 от «29» апреля 2025 года.

«30» апреля 2025 г.

Web-сайт организации: <https://itmo.ru/>

Зирка

