

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата физико-математических наук

Карандашева Якова Михайловича на диссертацию

Лазовской Татьяны Валерьевны «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

1. Актуальность темы исследования.

Диссертационная работа Т. В. Лазовской посвящена разработке методов анализа, моделирования и адаптивного управления сложными системами, для которых характерна высокая степень неопределённости и структурная сложность. Основу предложенного подхода составляет сочетание физически обоснованных моделей, задаваемых в виде дифференциальных уравнений, и нейросетевых структур, способных к обучению по наблюдаемым данным. Такое объединение направлено на преодоление ограничений, присущих традиционным подходам.

Классические численные методы, обеспечивая интерпретируемость и физическую обоснованность, часто оказываются малоприспособленными при работе с многомасштабными, нелинейными или слабо наблюдаемыми процессами. В то же время нейросетевые модели демонстрируют хорошие аппроксимационные свойства, но нуждаются в больших объёмах данных и нередко лишены прозрачности. Интеграция этих подходов позволяет добиться баланса между объяснимостью, устойчивостью и вычислительной эффективностью.

Предложенная в работе концепция востребована в задачах, где необходимо учитывать как природу описываемого явления, так и поступающие данные — в том числе в области цифровых двойников, прогностического моделирования, биомедицинских приложений и интеллектуального управления. Это делает выбранную тему актуальной как с научной, так и с прикладной точки зрения.

2. Научная новизна и практическая значимость работы.

Научная новизна работы определяется рядом оригинальных результатов, полученных автором в рамках исследования. В работе предложена система принятия решений о целесообразности проведения эндоваскулярных вмешательств, основанная на нейросетевой модели прогнозирования осложнений по параметрам системы гемостаза. Модель реализована и протестирована на реальных медицинских данных.

Разработан новый тип нейроморфных моделей, сочетающих элементы классических нейронных сетей прямого распространения с архитектурой, сформированной на основе уравнений математической физики. Предложен метод их построения путём преобразования обыкновенных дифференциальных уравнений в формально эквивалентные сетевые структуры.

Для обучения рассматриваемых моделей реализованы алгоритмы динамического управления их архитектурой. Эти алгоритмы основаны на принципах управляемой мутации и отборе по приближённости к фронту Парето, что позволяет учитывать несколько целевых характеристик одновременно.

В работе обоснованы критерии выбора между параметрическими и непараметрическими физически-информированными нейросетевыми моделями в зависимости от свойств объекта и характера исходных данных. Анализ проводится с точки зрения адаптивности и устойчивости при моделировании и прогнозе динамики объектов в условиях неопределённости.

Также предложен метод приближённого построения нейросетевых решений дифференциальных уравнений в частных производных. Архитектура таких моделей формируется на основе физической постановки задачи, а сами методы протестированы на примерах теплопроводности и волнового уравнения.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения предложенных методов в задачах анализа, прогнозирования и адаптивного моделирования, в том числе на основе ограниченных или разнородных данных. Подходы могут использоваться в инженерных, биомедицинских и других прикладных областях, где требуется совмещение физической структуры моделей с данными наблюдений.

3. Анализ структуры и содержания диссертации.

Структура диссертационной работы соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Работа состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы из 171 наименования, изложена на 189 страницах.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи, указана научная новизна, практическая и научная значимость работы.

Первая глава посвящена обзору литературы и анализу существующих подходов к построению математических моделей и анализу сложных систем, включая классические численные методы и нейросетевые модели. Обосновывается применение физически-информированных нейросетей и эволюционных алгоритмов для построения цифровых двойников и управления киберфизическими системами.

Во второй главе изложены подходы к моделированию риска осложнений после эндоваскулярных вмешательств с использованием нейросетевых методов. Описана модель, построенная на данных теста генерации тромбина, отражающего работу системы гемостаза. Приведены результаты классификации, подтверждённые ROC-анализом, и отмечена клиническая значимость полученных выводов.

В третьей главе рассмотрены методы построения нейроморфных моделей, основанных на преобразовании дифференциальных уравнений в сетевые структуры. Приведены примеры аналитической модификации численных схем и их объединения с нейросетевыми компонентами. Выполнен сравнительный анализ различных подходов на задачах с пограничным слоем и параметрической жёсткостью.

В четвёртой главе представлен поэтапный метод построения нейросетевых моделей с архитектурой, основанной на физике (PBA-PINN). Описаны принципы аналитической инициализации таких моделей и включения параметров задачи. Показана возможность дообучения модели по данным или граничным условиям. Проведено сравнение с классическими PINN по задачам с известным решением, включая обратные задачи и идентификацию параметров. Полученные результаты демонстрируют компактность и эффективность предложенного подхода.

В пятой главе описаны разработанные автором эволюционные алгоритмы построения и обучения физически-информированных нейросетей в многокритериальной постановке. Предложен подход к генерации совокупности решений, приближённой к фронту Парето. Рассматриваются схемы мутации и отбора с учётом дополнительных условий задачи и различных источников данных.

В шестой главе проведён сравнительный анализ параметрических и непараметрических физически-информированных нейросетевых моделей. Рассмотрены их особенности при моделировании систем с изменяющимися параметрами, включая адаптацию по данным. Исследованы контрольные задачи, проанализированы условия, при которых предпочтение следует отдавать каждой из моделей.

В седьмой главе рассмотрены методы построения приближённых моделей для объектов, описываемых уравнениями в частных производных, на основе аналитической модификации классических численных схем. Проведена апробация подхода на задачах теплопроводности и волнового уравнения.

В заключении подведены итоги выполненного исследования, сформулированы основные выводы по каждой из поставленных задач, отражена научная новизна и обозначены направления дальнейшего развития предложенных подходов. Отдельно подчеркнута практическая применимость разработанных моделей и методов в задачах анализа, моделирования и адаптации сложных систем по разнородной информации.

4. Достоверность и апробация научных результатов и публикации.

Достоверность результатов обеспечивается строгим математическим обоснованием, проверкой алгоритмов, а также сопоставлением вычислительных экспериментов с данными наблюдений и результатами, полученными другими методами. Предложенные подходы протестированы на ряде модельных и прикладных задач, что подтверждает их воспроизводимость и устойчивость.

Результаты работы обсуждались на ряде российских и международных научных конференций. Один из разработанных методов зарегистрирован в виде патента. Основные положения диссертации опубликованы в 78 научных работах, включая 16 статей в журналах из перечня ВАК и 14 — в зарубежных изданиях,

индексируемых в Scopus и Web of Science, включая ряд статей в журналах квартилей Q1-Q2.

5. Замечания и вопросы по диссертации.

1. В таблице 2 на стр. 47 хотелось бы увидеть разброс результатов на кроссвалидации, а не только одно значение.

2. В разделе 2.4 на стр. 47 делается вывод, что количественные показатели теста генерации тромбина влияют на симптомы возобновления ишемической болезни сердца независимо от версии рецидива, однако нет самого анализа обученной модели, полученных весов, чтобы сказать что-то про влияние входных параметров.

3. В тексте несколько раз приводится фраза: «применяя формулу итеративно n раз к интервалу с переменным правым концом мы получаем аналитическую функцию $y(x)$, которую можно рассматривать в качестве приближенного решения системы». Данная фраза является важной, однако её трактовка непонятна, хотелось бы более детальных разъяснений.

4. В формуле (86) в 4-й главе и в формулах (113-134) в главе 6 поиск решения ищется в виде линейной комбинации функций, являющихся произведением двух тангенсов или произведением РБФ-функции и тангенса. Такой выбор выглядит довольно оригинальным, но к сожалению не приводится обоснование.

5. В тексте работы встречаются отдельные пустые или некорректно оформленные ссылки, что затрудняет обращение к используемой литературе.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

6. Заключение.

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

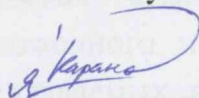
Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

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.

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник,
руководитель Центра оптико-нейронных технологий
НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ,
Кандидат физико-математических наук



Карандашев Яков Михайлович

Центр оптико-нейронных технологий федерального
государственного автономного учреждения
«Федеральный научный центр Научно-исследовательский
институт системных исследований Национального
исследовательского центра «Курчатовский институт»

Адрес: 117218, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36, к. 1

Телефон: +7(495)7182110, доб 1747

Адрес электронной почты: karandashev@niisi.ras.ru

Карандашев Яков Михайлович, к.ф.-м.н., 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по математическим отраслям и информатике)

подпись руки Карандашева Я.М.
заверяю печатью

