

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Омаровой Перизат
Танирбердиевны

на тему: **«Разработка модели переноса осадочных пород для прогнозирования загрязнения и заиливания в речных каналах на основе интеллектуального анализа и данных дистанционного зондирования»**, представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D075100 – Информатика, вычислительная техника и управление»

Актуальность темы исследования. Вода является жизненно важным ресурсом, требующим внимательного управления и сохранения, особенно в контексте изменения климата и растущих населенных пунктов. Плотины играют центральную роль в контроле и распределении водных ресурсов, хотя и сопряжены с рисками, включая потенциальное наводнение и экологическое ухудшение. Вопросы безопасности плотин остаются на переднем крае, требуя не только надлежащего технического обслуживания и модернизации, но и точного мониторинга для предотвращения аварий.

Современные системы мониторинга используют передовые методы машинного обучения для анализа данных, позволяя своевременно обнаруживать потенциальные аномалии. Эти системы используют как традиционные статистические подходы, так и более новые методы, такие как искусственные нейронные сети, машины опорных векторов и случайные леса, для анализа и интерпретации огромного объема данных, генерируемых автоматизированными системами мониторинга.

Проблема заиливания речных систем особенно актуальна, учитывая угрозы, которые она представляет для инфраструктуры и населения. Эффективное управление заиленными реками требует сложных гидродинамических исследований. Лабораторные эксперименты и численное моделирование служат важными инструментами в этом исследовании, хотя реальные эксперименты и наблюдения часто ограничены из-за их высокой стоимости и сложности проведения.

Развитие компьютерного зрения и обработки естественного языка повысило роль искусственных нейронных сетей в анализе и прогнозировании поведения плотин и речных систем. Нейронные сети, основанные на физике, такие как PINN, обеспечивают новаторский подход к моделированию без необходимости большого количества экспериментальных данных. PINN привлекательны своей способностью обучаться на сгенерированных выборках, что делает их идеальными для задач, где данные ограничены.

В данном исследовании используются PINN для анализа показателей скорости, давления и плотности воды, что способствует улучшению прогнозирования заиливания речных русел. Сравнение результатов, полученных с помощью PINN и традиционного численного моделирования в Ansys, демонстрирует преимущества нового метода, включая ускорение вычислений и улучшение точности прогнозов.

Цель диссертационной работы: Разработка моделей переноса осадочных пород для прогнозирования загрязнения и заиливания речных каналов основана на решении физических задач с помощью численного моделирования. Для ускорения процесса получения результатов прогноза используются нейронные сети и данные дистанционного зондирования.

Задачи исследования:

1. Сбор данных, включая параметры топографии объектов исследования, метеорологические характеристики и геологическую информацию;
2. На основе данных ДЗЗ и полевых измерений, необходимо разработать трехмерную численную модель объекта исследования с учетом сложной топографии реки Сырдарья и других геометрических параметров;
3. Построение моделей данных для прогнозирования загрязнения и заиливания в речных каналах и руслах рек на основе предобработки данных дистанционного зондирования с учетом полевых данных;
4. Построение моделей и проведение численных расчетов заиливания и загрязнения, а также переноса осадочных пород в речных каналах и руслах рек при помощи ANSYS;
5. Построение модели PINN и проведение вычислительных экспериментов для прогнозирования заиливания и загрязнения речных каналов и русла рек;
6. Сравнительный анализ и оценка результатов вычислительных экспериментов моделей загрязнения, заиливания и переноса осадочных пород на речных каналах и руслах рек.

Объект исследования: Область исследования - река Сырдарья в районе Шардаринского водохранилища. Шардаринское водохранилище представляет собой систему каскадных водохранилищ, а нижняя, равнинная часть бассейна реки Сырдарья состоит из лессовидных супесей (состав из глины и песка) и суглинков (тип почвы: смесь песка, ила, глины и почвы в равных пропорциях). В итоге русловые водоемы полностью удерживают течение взвешенных наносов, что и формирует процесс его заиливания. Игнорирование данной проблемы приведет к заиливанию целого каскада водохранилищ.

Предмет исследования: Река Сырдарья и ее русла, процессы заиливания и загрязнения, плотины.

Методы исследования: Модель Навье-Стокс и численная реализация, ANSYS, PINN, технология нейронных сетей, процесс обучения, методы ДЗЗ, технология программирования

Научная новизна работы:

1. Впервые было проведено численное моделирование в области реки Сырдарья с учетом реальных параметров местности с целью прогнозирования загрязнения и заиливания речных каналов.

2. Выполнено тонкая настройка нейронных сетей PINN (Physics-Informed Neural Networks) для решения задач Навье-Стокса в прикладной задаче выявления заиливания в речных каналах, позволяющая сократить время расчета в сравнении с традиционными численными методами.

Теоретическая и практическая значимость работы. Исследование способствует разработке прогностических методов, основанных на интеллектуальном анализе и данных дистанционного зондирования, для прогнозирования загрязнения и заиливания речных каналов. Эти методы улучшают управление водохозяйственными системами и предотвращают негативное воздействие на окружающую среду.

Прогнозирование загрязнения и заиливания речных каналов способствует принятию мер по предотвращению и восстановлению водных экосистем. Диссертационная работа вносит вклад в развитие теории переноса осадочных пород, предлагая модель, которая будет учитывать гидродинамические условия, рельеф дна, а также механическое и естественное воздействие для прогнозирования распространения загрязнения и заиливания в речных каналах.

Основные положения, выносимые на защиту.

Разработанный метод и модели прогнозирования осадочных пород для загрязнения и заиливания русла рек и речных каналов на основе нейронной сети архитектуры PINN и численное моделирование в ANSYS позволяют эффективно определить проблемные зоны исследуемых объектов, применение метода PINN с моделью Навье Стокс позволяет сократить время вычисления более 20%, по сравнению с численным моделированием.

Уровень достоверности и результаты апробации. Основные результаты исследования по диссертации были опубликованы в 6 публикации. Из которых 3 статьи в журналах, рекомендуемых КН МОН РК, 1 публикации в международных научных изданиях, входящих в базу Web of science и 2 публикации в международных конференциях.

Основные положения диссертации изложены в 6 печатных работах, из них:

- 1 статьи в международных научных журналах, индексируемых в Web of Science с высоким импакт-фактором Q2: (Applied Sciences–miscellaneous),

Perizat Omarova, Yedilkhan Amirgaliyev, Ainur Kozbakova, Aisulyu Ataniyazova (2023). Application of Physics-Informed Neural Networks to River Silting Simulation. Applied Sciences. 13(21), 11983, <https://doi.org/10.3390/app132111983> (WoS, Q2, 2022 Impact Factor: 2.7, SJR= 0.492, Перцентиль= 75)

3 статьи в журналах из списка, рекомендованного Комитетом по контролю в сфере образования и науки МНВО РК (ККСОН):

Amirgaliyev Y., Merembayev T., Omarova P., (2023), Mathematical modeling of water movement during a dam break using the vof method // Scientific Journal of Astana IT University, 14(14), 116–126. <https://doi.org/10.37943/14NEBW7927>.

Амиргалиев Е., Мерембаев Т., Омарова П.Т. (2023), Численное моделирование прорыва плотины для несжимаемого вязкого потока // Вестник КазАТК/ Автоматизация, телемеханика, связь, компьютерные науки/ ТОМ 127 № 4 (2023): Вестник КазАТК (проект)/ <https://vestnik.alt.edu.kz/index.php/journal/article/view/1335>

Амиргалиев Е., Мерембаев Т., Омарова П.Т. (2023), Численное моделирования процесса загрязнения речных каналов и заиливания рек // Вестник КазАТК/ Автоматизация, телемеханика, связь, компьютерные науки/ Том 128 № 5 (2023): Вестник КазАТК (проект) <https://vestnik.alt.edu.kz/index.php/journal/article/view/1416>

2 статей в материалах международных и республиканских конференций и доклады на научных семинарах:

Vladislav Rudakov, Timur Merembayev, Yedilkhan Amirgaliyev, Perizat Omarova. Time Series Analysis of Biogas Monitoring with Deep Learning Approaches // 5th International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics (PCI 2023), Baku, Azerbaijan. August 28-30, 2023

Yedilkhan Amirgaliyev, Beibut Amirgaliyev, Perizat Omarova. Methods of data mining and their industrial applications. // 5th International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics (PCI 2023), Baku, Azerbaijan. August 28-30, 2023

1 монография:

Омарова П.Т., (2023), Математическое моделирование для прогнозирования экологических процессов. Монография // «Дарын» баспасы, ISBN 978-601-269-397-3, Алматы, ИИВТ КН МОН РК, 2023 г., – 152 стр.

Личный вклад исследователя. Соискатель демонстрирует высокий уровень научной независимости и исключительную самостоятельность, успешно решая ключевые задачи исследования. Авторское вклад в диссертацию подтверждается оригинальными результатами, полученными лично исследователем. Концептуальная основа исследования и научная методика были разработаны в сотрудничестве с уважаемым отечественным ученым, доктором физико-математических наук, профессором Амиргалиевым Е.Н., и заслуженным зарубежным специалистом, профессором Waldemar Wójcik из Люблинского Технического Университета в Польше, что подчеркивает интеграцию международного научного сообщества и вклад в мировую науку.

Авторская работа составила весомую часть всего исследовательского процесса, включая разработку теоретических положений, сбор и анализ данных, проведение экспериментов и моделирование. Отмечается, что личное участие исследователя в проекте достигает 90%, что

свидетельствует о глубине знаний, оригинальности подходов и непосредственном вкладе в достижение научных результатов, представленных в диссертации.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации: 112 страниц письменного текста, в том числе 57 рисунка, 10 таблиц, список литературы из 69 источников, 5 приложения.

Во введении диссертации Омаровой П.Т. обоснована актуальность темы работы, которая тесно связана с проблемами мониторинга и анализа состояния инженерных сооружений, важных для обеспечения безопасности в условиях техногенных и природных воздействий. Цели, объект, предмет исследования определены с учетом современных требований к системам мониторинга, результаты исследований демонстрируют научную новизну и практическую значимость разработок.

В первом разделе диссертации подробно анализируются методы и подходы к диагностированию потенциально аварийных состояний дамб и других гидротехнических сооружений. Описывается объект исследования, включая аппаратуру для сбора данных и визуализацию в интерактивных графиках, что позволяет оценить текущее состояние и динамику изменений.

Второй раздел посвящен новому классу моделей на основе дифференциальных уравнений, включая формальное определение временных рядов и обзор существующих моделей прогнозирования. Подробно рассматриваются как классические подходы, так и новейшие разработки в данной области, включая модели с учетом нелинейной динамики процессов.

Третий раздел вводит в основы дифференциальных уравнений, лежащих в основе нейросетевых УЧП. Описывается использование математического аппарата для параметризации нейронных сетей и аппроксимации решений УЧП, что предоставляет гибкие возможности для моделирования динамики процессов.

Четвертый раздел охватывает полный цикл разработки и внедрения системы мониторинга, начиная от цифровизации сооружений до визуализации данных. Представлены открытые программные решения на каждом этапе работы с данными. Демонстрируется, что предложенная модель на основе УЧП эффективно работает с нерегулярными и зашумленными временными рядами, предоставляя лучшие возможности для анализа и предсказаний по сравнению с традиционными методами.

В заключительной части изложены основные достигнутые результаты исследования, сделаны выводы по диссертации, а также намечены направления для будущих исследований в данной области.