

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Мерембаева Т.Ж. «Разработка программно-аппаратных инструментариев для мониторинга технических систем», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D070400 – Вычислительная техника и программное обеспечение.

Актуальность темы исследования. Идея работы заключается в создании системы на основе искусственного интеллекта для уменьшения риска появления аварийности или предсказания пред аварийного состояния в технических устройствах, в частности на биогазовой установке. В работе рассматривается создание комплексного подхода на основе алгоритмов машинного обучения для технических устройств.

Предсказание аварийности и устойчивой работы технического комплекса является важной задачей в проблеме поддержания качественной работы различного вида оборудования. Решение данной проблемы логическим образом является экономически выгодной по сравнению с проблемой полной замены, глубокого ремонта технического комплекса или простоя оборудования. Выявления пред аварийности технического комплекса основывается на предсказании аварийности основных компонентов устройства, которые оказывают огромное влияние на рабочие характеристики устройства. Современные исследования показали, что мониторинг характеристик компонентов технического устройства по прежнему остается важнейшей задачей для принятия обоснованных решений в области эксплуатации и технического комплекса.

Проблема безопасности для разных типов технических устройств рассмотрена в нескольких современных работах. Исследования касательно безопасности и аварийности изучены в работе Морено и др., объектом исследования рассматривается аварий на биогазовых станциях. Авторы выделяют следующие пункты: защитные меры биогазовых проектов недостаточны, методы мониторинга являются относительно отсталыми, запись данных в реальном времени и статистический анализ не могут быть выполнены, время от времени происходят утечки биогаза и взрывы. В исследовании показано высокое увеличение аварийности на биогазовых станциях, чем увеличение производства энергии на обычных станциях. Оценка риска аварий на биогазовых станциях описана в различных научных статьях, где риски серьезным образом повлияли на продвижение биогазовых проектов. Вопросы безопасности при использовании биогаза являются одной из важнейших тем в биогазовой промышленности. Для обеспечения безопасности работников и надлежащего управления биогазовыми проектами необходима система мониторинга в режиме реального времени и в течение длительного времени в различных условиях. Важным компонентом для данной цели является большое количество данных о параметрах.

Одним из способов построения модели со скрытыми переменными, описывающую генерацию временного ряда на основе дифференциальных уравнений. Авторы предлагают новую архитектуру нейронных сетей на основе обыкновенных дифференциальных уравнений. Основной идеей в диссертационной работе является в применение новой архитектуры нейронных сетей для практических задач предсказания аварийности (проблема экстраполяции временных рядов) и классификации (классификация аварийности на основе исторических данных). Применение новой архитектуры имеет ряд преимуществ по сравнению существующими архитектурами (recurrent neural network) RNN, такие как:

- Эффективность. В обучении нейронных дифференциальных уравнений не обязательно вычислять градиент через все операции численного метода и также нет необходимости хранить промежуточные результаты.
- Гибкость времени работы. По сравнению с решениями дифференциальных уравнений, где шаг сетки определяет точность модели и влияет на время вычисления, в нейронных дифференциальных уравнениях мы можем явно контролировать баланс между численной точностью и вычислительными затратами.

- Количество параметров. Если сравнивать ResNet, преимуществом предложенной архитектуры является меньшее количество параметров, так как не требуется для каждого слоя новые параметры.

Целью работы является разработка интеллектуальной системы для анализа и оценки аварийности технических систем, построенная на основе современных технологий искусственного интеллекта.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Разработать комплексную платформу по повышению эффективности работы биогазовой установки на основе нейронных дифференциальных уравнений для повышения отказоустойчивости оборудования.
2. Построить архитектуру нейронной дифференциальных уравнений для расчета оценки риска аварийности технического устройства с использованием обыкновенного дифференциального уравнения для экстраполяции временных рядов и оценки плотности.
3. Создать автоматизированного комплекса по сбору и обработке данных с биогазовой установки.
4. Определить критерии «оптимального» и предаварийного режима работы и обслуживания объектов, минимизация роли «человеческого фактора».
5. Разработать систему мониторинга и «быстрого» оповещения о внештатных (аварийных) ситуациях в работе объекта.

Объектом исследования является показания датчиков (временной ряд), события об авариях или отклонения работы технического устройства и методы анализа временных рядов.

Предметом исследования является техническое устройства в частности биогазовая установка.

Научная новизна. Научная новизна заключается в разработке и в получение следующих выводов:

1. Разработана математическая модель на основе нейронных дифференциальных уравнений для предсказания значений в будущем.
2. Доказана устойчивость нейронных дифференциальных уравнения.
3. Построена комплексная система для мониторинга работоспособности узлов и агрегатов биогазовой установки и выявления пред аварийного состояния технических устройств.

Теоретическое и практическое значение работы. Теоретическая значимость данной работы заключается в математическом доказательстве применения математического аппарата ОДУ для создания новой архитектуры нейронах сетей, также в выводе свойства достаточности существования решения для нейросетевых ОДУ, т.е. отсутствие пересечение интегральных кривых. Практическая значимость работы заключается в апробации нейросетевых ОДУ для задачи предсказания аварийности на биогазовой установке.

Объем и структура работы. включает введение, 4 разделах, список использованных источников и приложения.

Во введении дано обоснование актуальности выбранной темы диссертационной работы. Сформулированы цель, объект, предмет и задачи научно-исследовательской работы. Описаны результаты проведенных исследований, показаны их научная новизна и практическая значимость.

В первой разделе диссертационной работы рассматривается проблема пред аварийного состояния технических устройств. Представлено описание объекта исследования, датчики сбора информации об биогазовой установке. Выполнен анализ собранных данных, визуализация на интерактивных графиках. Дается описание математического моделирования состояния объектов биогазовой установки, в частности плоского гелеоколлектора, который является устройством для обогрева биогазовой установки.

Второй раздел содержит описание нового семейства моделей глубоких нейронных сетей, основанных на дифференциальных уравнениях (ОДУ) или нейросетевыми ОДУ. В начале раздела формально определено, что такое временной ряд и что значит делать выводы по временным рядам. Предоставлен обзор классических моделей прогнозирования временных рядов, таких как ARIMA, LSTM и Prophet. Для данных моделей показано, какие имеет слабые стороны в случае нелинейной динамики происхождения временных данных. Кратко представлено введение в дифференциальные уравнения, который является строительным блоком для нейросетевых ОДУ. Математический аппарат дифференциальных уравнений используется для параметризации нейронной сети. В данном разделе описана аппроксимация решение ОДУ с помощью математического аппарата дифференциальных уравнений, решение является в виде «черного ящика». Также описано масштабируемое обратное распространение через решение ОДУ без использования внутренних операций, что позволяет проводить сквозное обучение. Данный подход позволяет построить модели скрытых переменных с непрерывным временем, в которых скрытое состояние прогрессирует как непрерывная функция во времени. В разделе показано свойства достаточного существования решения для нейросетевых ОДУ, т.е. отсутствие пересечения интегральных кривых.

Третий раздел содержит введение в дифференциальные уравнения, который является строительным блоком для нейросетевых ОДУ. Математический аппарат дифференциальных уравнений используется для параметризации нейронной сети. В данном разделе описана аппроксимация решение ОДУ с помощью математического аппарата дифференциальных уравнений, решение является в виде «черного ящика». Также описано масштабируемое обратное распространение через решение ОДУ без использования внутренних операций, что позволяет проводить сквозное обучение. Данный подход позволяет построить модели скрытых переменных с непрерывным временем, в которых скрытое состояние прогрессирует как непрерывная функция во времени. В разделе показано свойства достаточного существования решения для нейросетевых ОДУ, т.е. отсутствие пересечения интегральных кривых.

Четвертый раздел содержит описание предложенной и разработанной архитектуры решения начиная с цифровизация биогазовой установки и заканчивая визуализации данных на дашборде. В рамках описание архитектуры представлены open source решения для различных этапов сбора, хранения и обработки данных. Используя собранный набор данных с биогазовой установке было показано, что модели на основе ОДУ являются мощным инструментом для нерегулярных, разреженных и зашумленных временных рядов и превосходят рекуррентные нейронные сети в своих экстраполяционных и интерполяционных свойствах.

В заключении изложены основные результаты работы, выводы диссертации и будущие шаги исследования данного направления.

Связь с государственными программами. Рассматриваемые задачи диссертации имеют большое практическое значение и непосредственно связаны с задачами цифровизации производства. Вопросам цифровизации уделяется значительное внимание в выступлении президента Токаева К.К. и в правительственных документах: Стратегии «Казахстан-2050», Государственной программы «Цифровой Казахстан», Послания Главы государства «Единство народа и системные реформы - прочная основа процветания страны» от 1 сентября 2021 года, Концепции перехода Казахстана к «зеленой» экономике, Государственная программа индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020-2025 годы, Закону РК «Об энергосбережении», где особое место отводится мерам по вовлечению энергобаланса ВИЭ; Киотскому протоколу по чистому развитию.

Диссертационная работа выполнялась в рамках научно-исследовательских работ по коммерциализации МОН РК 0365-18-ГК – «Производство и реализация биогаза, биоудобрений на базе разработки и построения модульного автоматизированного биогазового комплекса с цифровыми технологиями управления и функционирования»

Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (ИИВТ КН МН и ВО РК), апробация технических, теоретических методов и гипотез выполнена на техническом комплексе – биогазовой установке. Результаты исследований по данной диссертации включены в отчеты проектов за 2019 год, 2020 год и включены в итоговый отчет за 2021 год.

Также в рамках диссертации были выполнены работы по направлению создания датчиков для сбора данных с технических устройств (солнечного коллектора), был получен патент по полезную модель №5591 «Система дистанционного мониторинга солнечных коллекторов» в рамках программно-целевого финансирования исследования BR05236693-ОТ-20 «Математические и компьютерные модели, программно-аппаратные инструментари и опытно-экспериментальные разработки по созданию сети комбинированных эффективных двухконтурных гелиоколлекторов с термосифонной циркуляцией и мониторинг их функционирования». Результаты исследований по данной диссертации включены в отчеты проектов за 2019 год и включены в итоговый отчет за 2020 год.

Апробация работы. Основные результаты по теме диссертации изложены в 10 работах, 3 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МН и ВО РК, в 4х статьях в международном научном издании, входящим базу данных Scopus и в 3х материалах международных зарубежных конференции: 14-й международной конференции Electronics Computer and Computation (ICECCO), IEEE. Казахстан, СДУ, Каскелен, 2018 г.; Международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании», 2020 г.; 13-й международный симпозиум “Intelligent Systems 2018” (INTELS’18), 22-24 Октября, 2018, Санкт-Петербург.

Научные публикации: Полученные по теме диссертации результаты представлены в следующих публикациях:

Journals SCOPUS/WoS:

1. Yedilkhan, A., Murat, K., Beibut, A., Aliya, K., Ainur, K., **Timur, M.**, & Azhibek, D. (2020). Mathematical justification of thermosyphon effect main parameters for solar heating system. Cogent Engineering, 7(1), 1851629. Scopus: 67%, WoS: Q2
2. **Merembayev, T.**, Kurmangaliyev, D., Bekbauov, B., & Amanbek, Y. (2021). A Comparison of machine learning algorithms in predicting lithofacies: Case studies from Norway and Kazakhstan. Energies, 14(7), 1896. Scopus: 85%, WoS: Q3, IF:3.0
3. **Merembayev, T.**, Amirgaliyev, Y., Kunelbayev, M., Yedilkhan, D. (2022). Thermal loss analysis of a solar flat collector using numerical simulation. Computers, Materials and Continua. Accepted. Scopus: 80%, WoS: Q2, IF:3.7
4. Amirgaliyev, Y., Wójcik, W., Kunelbayev, M., & **Merembayev, T.** (2019). Theoretical preheoretical prerequisites of electric water heating. NEWS of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 6 (438), pp. 54-63. Scopus: 40%, WoS: Q4

ККСОН:

1. Амиргалиев Е.Н., Юнусов Р., **Мерембаев Т.**, Едилхан Д. Проектирование архитектуры хранения данных в сети гелиоколлекторов. Вестник КазНУ, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ISSN 1680-9211, -№4,-2020 г., - С.212-216
2. Amirgaliyev, Y., **Merembayev, T.** (2021). Anomaly Detection in Solar Hot Water System Using Machine Learning. Вестник национальной инженерной академии РК, №3 часть 2, - С.34-44
3. Amirgaliev Y., Kunelbayev M., **Merembayev, T.** Kozbakova A., Sundetov T., Irzhanova A. Control system of controllers of a flat solar collector with a thermosifon circulation. Вестник Казахстанско-британского технического университета, ISSN 1198-6688, -№1,-2019 г., - С.55-61

Патент

1. Патент на полезную модель №5591. Кунелбаев М., Калимолдаев М., Сундетов Т., Даулбаев С., **Мерембаев Т.**

Conferences indexing in SCOPUS:

1. Amirgaliyev, Y., **Merembayev, T.**, Kunelbayev, M., Yedilkhan, D. Dynamic Simulation of a Solar Hot Water Heating System for Kazakhstan Climate Conditions. 2018 14th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO). IEEE. Electronic ISBN: 978-1-7281-0132-3
2. **Merembayev T.**, Yunusson R., Amirgaliyev Y. Machine Learning Algorithms for Classification Geology Data from Well Logging. 2018 14th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO). IEEE. Electronic ISBN: 978-1-7281-0132-3
3. **Merembayev T.**, Yunusson R., Amirgaliyev Y. Machine Learning Algorithms for Stratigraphy Classification on Uranium Deposits. Proceedings of the 13th International Symposium “Intelligent Systems 2018” (INTELS’18), 22-24 October, 2018, St. Petersburg, Russia. Procedia Computer Science. Volume 150, 2019, Pages 46-52. Scopus (CiteScore 2018: 1.48)