



УДК 004.896

МРНТИ 28.23.27

[https://doi.org/10.53364/24138614\\_2025\\_37\\_2\\_18](https://doi.org/10.53364/24138614_2025_37_2_18)

Г.И.Жолдангарова<sup>1</sup>, М.Н.Калимолдаев<sup>2</sup>, К.Т.Искаков<sup>1</sup>,  
Т.Л.Тен<sup>3</sup>, М.М.Есмагамбетова<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

<sup>2</sup>Институт информационных и вычислительных технологий Комитета науки министерства  
науки и высшего образования РК

<sup>3</sup>Карагандинский университет Казпотребсоюза

<sup>3</sup>E-mail:marzhan1983@mail.ru\*

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

*Аннотация.* В данной статье рассматриваются способы мониторинга и предсказания остаточного срока службы насосов, применяемых в ирригационных системах. Актуальность этого изыскания обусловлена необходимостью повышения надежности и эффективности эксплуатации насосного оборудования, уменьшения вероятности неожиданных поломок, и оптимизации затрат на техническое обслуживание.

Данное исследование направлено на создание и применение высокоточного способа предсказания остаточного срока службы (RUL) ирригационной системы. В основе способа лежит использование сверточной нейронной сети (CNN).

*Задачи исследования:*

Изучение существующих методов мониторинга и предсказания технического состояния насосного оборудования.

Разработка архитектуры сверточной нейронной сети (CNN) с двумя параллельными каналами обработки данных: временным и временно-частотным.

Создание программного комплекса «AITUM» для сбора, обработки и анализа данных, поступающих с датчиков вибрации и температуры. Разработка рекомендации по применению метода в системах технического обслуживания насосного оснащения.

Сконструированный метод на основе глубокого обучения показывает высокую точность предсказания RUL насосов, что значительно превосходит общепринятые подходы. Проведены серии опытов на реальных данных насосных систем, что помогло обнаружить закономерности деградации оснащения. Применение данной технологии позволит снизить риск аварийных отказов, уменьшить эксплуатационные издержки и повысить эффективность систем орошения за счет своевременного технического обслуживания оборудования.

**Ключевые слова:** прогнозирование остаточного ресурса (RUL), датчики IoT, CNN, насосные агрегаты ирригационных систем, алгоритм интеллектуального анализа данных.

### Введение.

Настоящее изыскание посвящено разработке системы мониторинга и предсказательного

анализа технического состояния специализированных насосных агрегатов, применяемых в составе ирригационных комплексов. Учитывая высокую цену и конструктивную сложность данного оборудования, обеспечение его бесперебойной и надёжной эксплуатации является критически важным условием для эффективного водоснабжения аграрных зон. В рамках проекта был реализован прототип системы мониторинга на базе микрокомпьютера Raspberry Pi 4 с подсоединёнными датчиками температуры и вибрационных колебаний. Обработка и анализ данных, включая извлечение информативных признаков и применение методов прогностического моделирования, осуществлялись в программной среде Anaconda с использованием языка Python. Экспериментальные итоги показали, что интегральный анализ температурных и вибрационных характеристик позволяет оперативно обнаруживать аномалии, обусловленные, в частности, несоосностью валов и износом подшипников. Прогностические модели регрессии подтвердили действенность раннего прогнозирования вероятных поломок, в то время как спектральная декомпозиция сигналов позволила выделить как долговременные тенденции, так и циклические составляющие. Представленный подход способствует повышению надёжности ирригационных систем, уменьшению временных потерь, связанных с неработоспособностью оборудования, и оптимизации планово-предупредительного обслуживания.

### **Материалы и методы исследования.**

Ирригационные насосы являются критически важными элементами систем орошения в сельском хозяйстве, обеспечивая необходимую подачу воды для поддержания оптимальных условий выращивания культур.

Системы орошения состоят из нескольких типов насосных станций, которые подразделяются по особенностям и применению:

- Насосы с центробежной конструкцией, которые используют вращательное движение для создания давления.
- Насосы турбинной конструкцией – применяются для глубоких скважин.
- Насосы для погружения в воду – используются в колодцах, где необходимо погружать в воду.
- Насосы осевой конструкций – используются для перемещения большого объёма при малом напоре воды.

Эффективность аграрных предприятий напрямую зависят от эксплуатационных качеств приборов и агрегатов насосной станции. Это требует частое техническое обслуживание и мониторинг состояния системы [1].

Как и прочие механические системы, насосы тоже подвергаются износу и повреждению. Вот некоторые проблемы:

- Подшипники и уплотнительные изделия. Частое использование приводит к выработке и высыханию смазочных материалов подшипника, уплотнительных изделий.
- Воздействие внешних факторов на конструкцию насосов – коррозия и эрозия. Поверхности, взаимодействующие с водой, которая содержит в своем составе химические вещества независимо в малом или в большом количестве, подвергаются коррозии.
- Повреждения самой конструкции крыльчатки насоса. Крыльчатки насоса являются одним из основных узлов насоса, которые непосредственно подвергаются износу и механические повреждения приводят к снижению эффективной работы системы.
- Загрязнения системы. Нечасто используемая вода проходит фильтрацию. Даже при наличии фильтрующих систем, побочные материалы коррозий и эрозий способствуют загрязнению.

Вышеперечисленные факторы способствуют значительному снижению эффективности работы всей системы, повышается риск отказов и несвоевременных затрат на ремонт или на обслуживание.



Рисунок 1 – насос для ирригационной системы

Выходом для решения подобных проблем является использование современных технологий и новых подходов:

– переход на энергоэффективные насосы. Замена агрегатов на более современные насосные системы с высоким КПД.

– Переход на современные материалы для узлов насоса, которые обеспечат высокую износостойкость.

– Автоматизация мониторинга и управления за станциями. Этот подход позволит контролировать и выявлять неполадки.

Исходя из вышесказанного, мы определили цель исследования– диагностика состояния технологического оборудования в системах орошения (на примере насоса). Насос является дорогостоящим специализированным оборудованием, а его отказ влечёт необходимость вызова зарубежных сервисных служб (так как системы оборудования поставляются из-за рубежа) и может привести к потерям урожая. В своей работе мы использовали вибрационные и, температурные датчики для сбора данных, а затем проанализировали их, чтобы:

1. Выявить долгосрочные тенденции (тренды).

2. Определить возможные сезонные колебания.

3. Найти аномалии и потенциальные дефекты.

Построить прогнозы для планирования обслуживания.

Традиционные методы технического обслуживания насосов, основанные на плановых интервалах и периодических осмотрах, не всегда позволяют своевременно обнаружить начальные стадии деградации оборудования. В связи с этим возникает потребность в развитии предиктивных методов мониторинга и прогнозирования остаточного срока полезного использования (Remaining Useful Life, RUL) насосов [1]. Современные технологии Интернета вещей (IoT) и методы глубинного обучения предоставляют новые возможности для непрерывного сбора и анализа больших объемов данных, поступающих с датчиков, установленных на оборудовании.

В данной работе предлагается метод прогнозирования RUL насосов ирригационных систем на основе глубинного обучения признаков с использованием сверточной нейронной сети (CNN). Особенностью предлагаемого подхода является архитектура с двумя параллельными каналами, которые независимо извлекают информативные признаки из сигналов деформации во временной-частотной и временной областях. Первый канал осуществляет обработку сигналов во временной-частотной области, используя методы спектрального анализа для выявления характерных частотных компонентов, связанных с

механическими дефектами и износом элементов насоса. Второй канал анализирует сигналы во временной области, позволяя обнаруживать динамические изменения и аномалии в работе оборудования [2].

Обучение признаков выполняется на основе больших объемов данных, собранных с датчиков вибрации и температуры, установленных на насосах. Глубинные характеристики, полученные из двух каналов, объединяются на этапе интеграции признаков для формирования комплексного представления о состоянии насоса. Это позволяет повысить точность оценки деградации и прогнозирования RUL за счет учета разнообразных аспектов работы оборудования.

Предложенный метод был верифицирован на эксплуатационных данных двух действующих насосных систем с различными типами неисправностей. Результаты сравнительного анализа демонстрируют, что разработанный подход обеспечивает более высокую точность прогнозирования RUL по сравнению с существующими современными методами, такими как рекуррентные нейронные сети (RNN) и модели на основе временных рядов (ARIMA). Внедрение данного метода способствует повышению надежности и эффективности эксплуатации насосного оборудования, уменьшению рисков аварийных отказов и оптимизации затрат на техническое обслуживание [3].

Система состоит из следующих устройств:

- Датчик колебаний и нагрева
- Analog-to-digital converter (ADC)
- Raspberry Pi 4
- GSM-роутер

Обеспечивает подключение к Интернету для передачи данных на удалённые серверы и доступ с мобильных и настольных устройств [4].

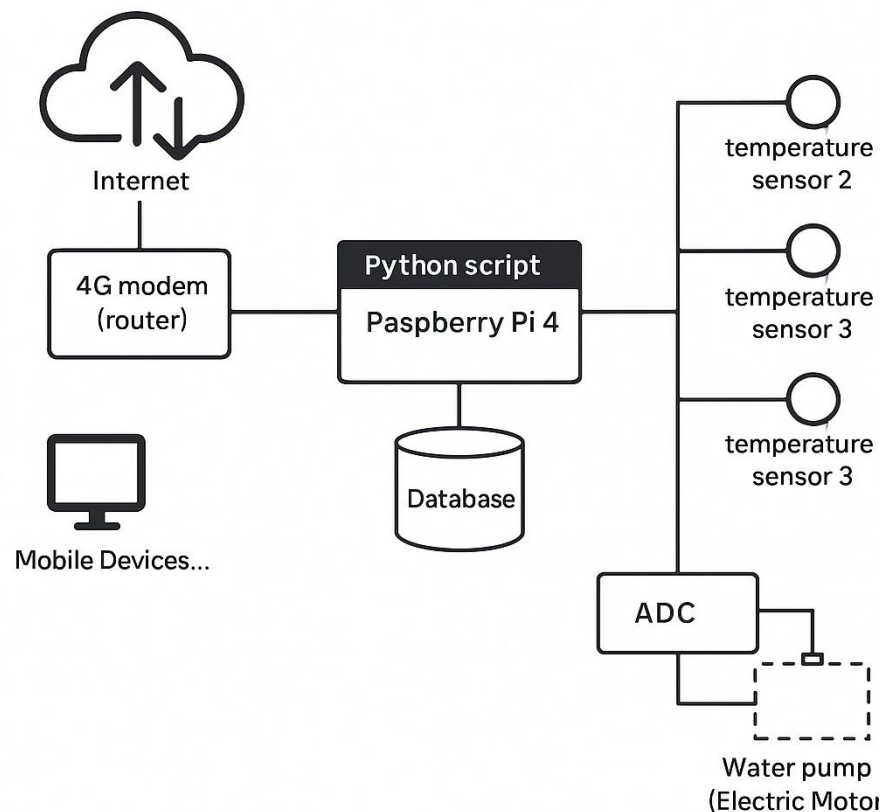


Рисунок 2 – Схема работы системы

## Результаты и их обсуждение.

Краткое описание алгоритма мониторинга:

Алгоритм мониторинга

- ▶ 1.1 Чтение файла и обработка рядов
- ▶ 1.2 Разделение строк по запятым
- ▶ 1.3 Поиск максимального числа столбцов для оптимизации структуры данных
- ▶ 1.4 Преобразование в DataFrame с заполнением NaN
- ▶ 1.5 Преобразование величин в числовые и удаление текстовых меток
- ▶ 1.6 Получение численных датасетов из сенсоров 1 и 2

Шаг 2 – Очистка данных:

2.1. Удаление нечисловых и символьных значений

- ▶ Шаг 3 – Извлечение признаков во временной области
- ▶ Шаг 4 – Получение признаков frequency domain
- ▶ Шаг 5 – Визуализация

Алгоритм написан на языке Python: информация была получена от датчиков Raspberry Pi, визуальное представление результатов так же выполнено на языке Python [5].

```

1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 from scipy.stats import skew, kurtosis
4 from scipy.fftpack import ft
5 import matplotlib.pyplot as plt

1 # Шаг 1: Загрузка данных
2 file_path = 'data_motor_sensr1.csv'

3 # Открываем строку FFT, encoding('utf-8') file
4 with (file_path), read(r, ending=raw_cont)
5 raw_content = run_raw_redreat

6 # Разделение строк на значения
7 readed_data = dtate(strp).splitt: row) > raw_conrows)
8 max_columns = max(lomms in col(row in parsed_cata)
9 for row in parsed_data)

1 cleaned_data = pdDtat@frame(np +np.nan) values -n-len(n
2   for row in parsed_data)

print(cleaned_data)

```

Рисунок 3 – Программа «AITUM»

После вычислений, алгоритм выдает графические результаты.

В рисунке 4, где по оси  $X$  — индекс каждой записи, а по оси  $Y$  — значения датчиков, отображены данные "Sensor 1" и "Sensor 2". Шкала времени показана с шагом 30 секунд, начиная с 01.07.2024 года, 15:00, и построен обновлённый график.



Рисунок 4 – График, отображающий данные только для "Sensor 1" с временными метками

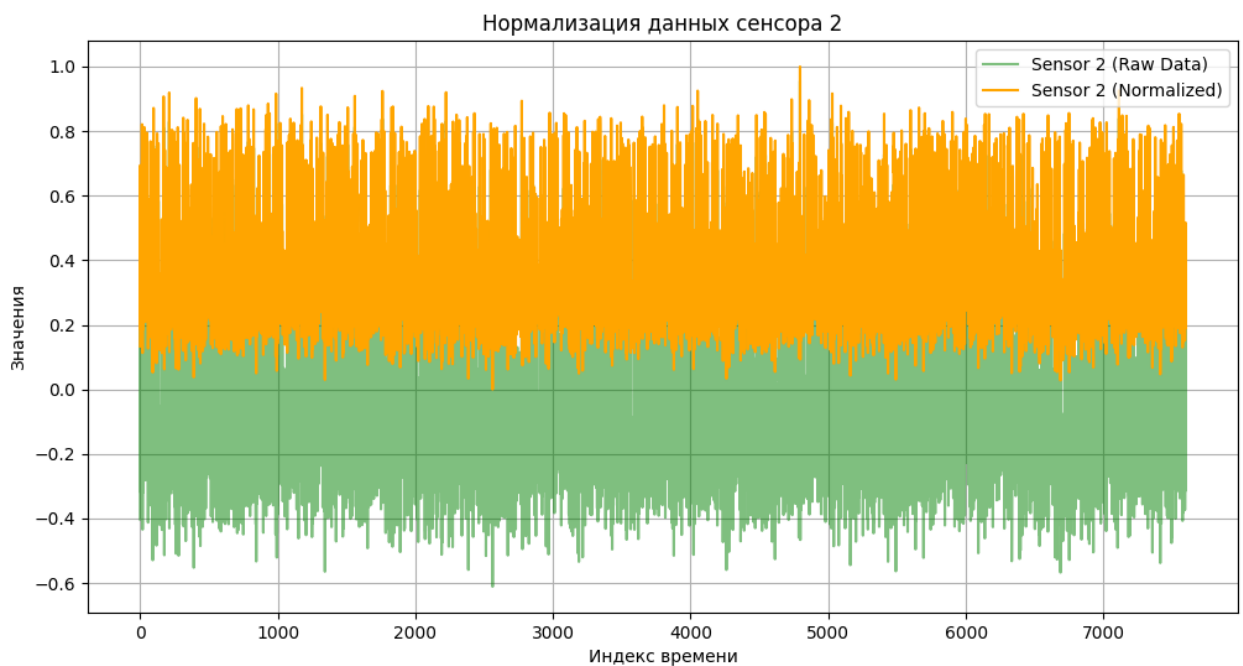
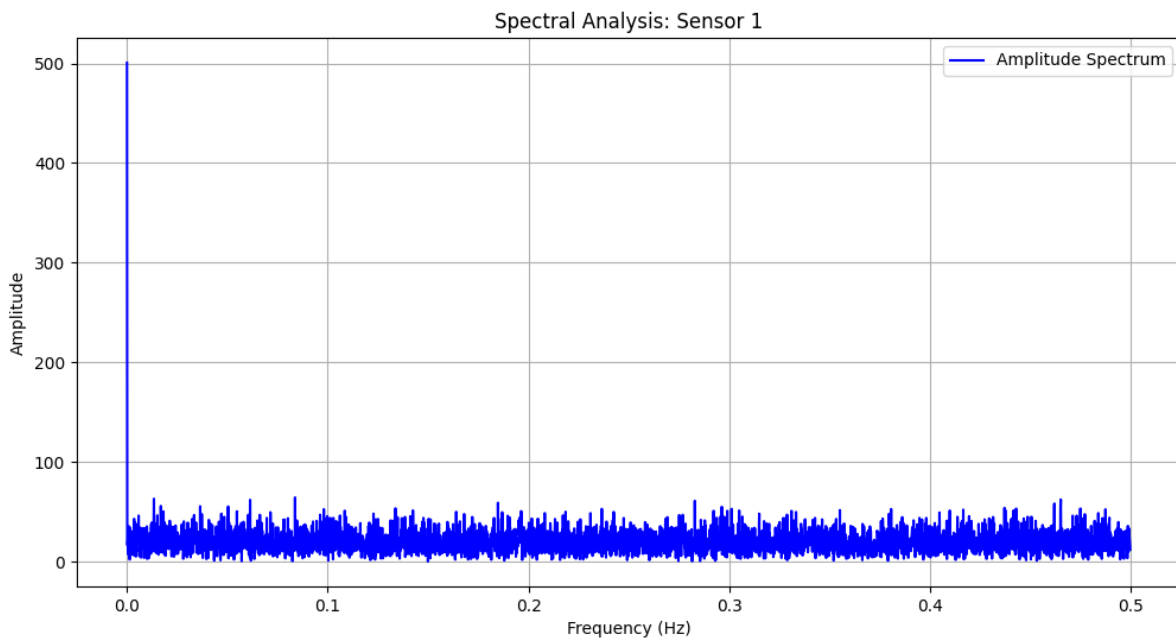
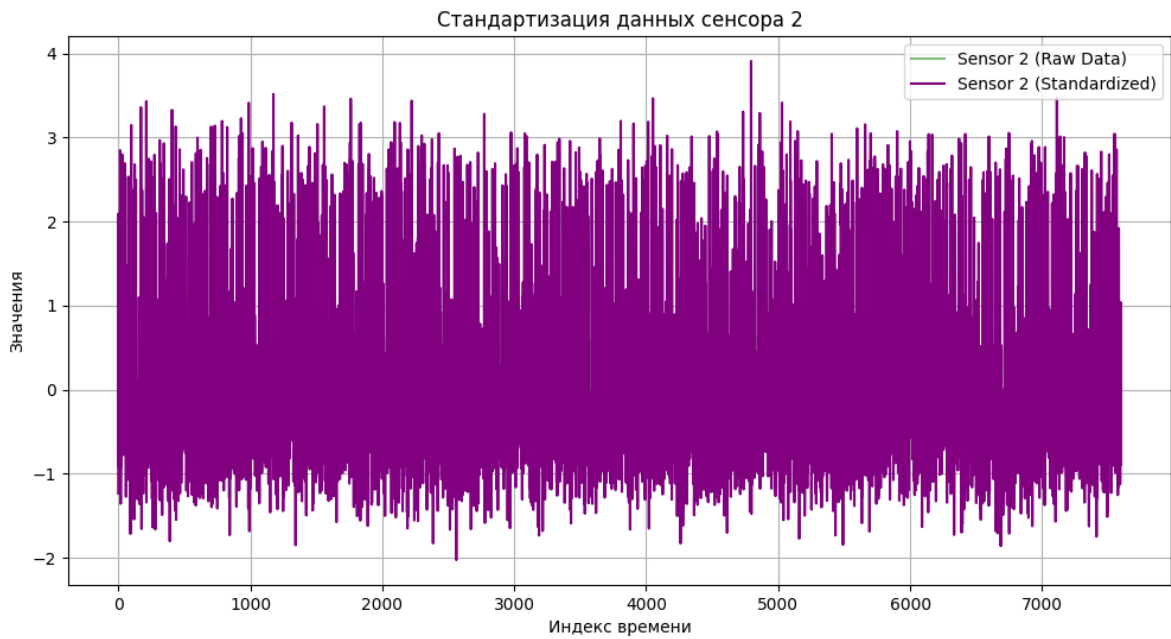


Рисунок 5 – График, отображающий данные только для "Sensor 2" с временными метками.



Статистический анализ данных для "Sensor 1":

- Количество значений: 22 791
- Среднее значение: -0.088
- Стандартное отклонение: 0.268
- Минимум: -0.646
- Квантиль (25%): -0.264
- Медиана: -0.158
- Квантиль (75%): 0.006
- Максимум: 0.966

Разложение данных "Sensor 1" позволило выявить тренды и сезонность [6]. На графике отображены:

1. Наблюдаемые данные: Исходный временной ряд.
2. Трендовая компонента: Общая направленность изменений в данных.
3. Сезонная составляющая: Повторяющиеся колебания в данных [7-8].

4.Остаток: Случайный шум.

Выводы:

1. Тренды датчиков могут указывать на постепенное увеличение вибрации, что может быть связано с износом оборудования.

2. Сезонные колебания часто коррелируют с рабочими режимами насоса или изменениями внешних параметров (температура, давление и т.д.).

### **Заключение.**

В представленном исследовании был разработан и предложен метод предсказания остаточного срока службы насосов, применяемых в ирригационных системах. В основе метода лежит использование свёрточной нейронной сети (CNN) с двухканальной архитектурой обработки данных. Данный подход обеспечивает более качественный и надёжный анализ состояния оборудования, превосходя традиционные методы тех обслуживания, такие как плановые осмотры. Основное преимущество предложенной методики состоит в комплексной обработке информации, поступающей с датчиков вибрации и температуры, за счёт применения двух независимых каналов анализа:

-Анализ временных рядов, позволяющий выявлять закономерности в функционировании оборудования.

-Временно-частотный анализ, предназначенный для обнаружения скрытых закономерностей и частотных составляющих, характерных для различных дефектов.

Результаты экспериментов, выполненных на основе реальных данных, полученных с двух насосных систем, продемонстрировали, что разработанный метод показывает следующие результаты:

-более высокая точность предсказания остаточного срока эксплуатации оборудования в сравнении с существующими решениями;

### **Благодарность**

*Работа выполнена за счет грантового финансирования научных исследований на 2024-2026 годы по проекту АР23490529 «Разработка информационной системы и математических моделей для мониторинга и прогнозирования нагрузки электроэнергетических систем на основе гибридных технологий»*

### **Список литературы**

1. Ali, A., Zhou, L., Khan, A., Ullah, Z., Ahmad, N., & Ahmad, I. (2024). An intelligent computing methodology for two-phase flow performance assessment of electrical submersible pump using artificial neural network and synthetic minority over-sampling technique. *Measurement*, 244, 116512. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.116512>

2. Vahidi, M., Amini, S., Liaghat, A. M., & Zehtabian, G. R. (2025). Multi-depth soil moisture estimation via 1D convolutional neural networks from drone-mounted ground penetrating radar data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 232, 110104. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110104>

3. Preite, L., & Vignali, G. (2024). Artificial intelligence to optimize water consumption in agriculture: A predictive algorithm-based irrigation management system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 223, 109126. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109126>

4. R, S., Thakur, M., Sharma, S., & Garg, S. (2023). A novel autonomous irrigation system for smart agriculture using AI and 6G enabled IoT network. *Microprocessors and Microsystems*, 101, 104905. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2023.104905>

Жолдангарова, Г.И., Калимолдаев, М.Н., Ахметжанов, М.А. & Зиятбекова Г.З (2025). Algorithm of the pump unit's monitoring (Author's Certificate No. 54889, issued February 19, 2025). АИТУМ.

Ванг, И., Xiang, J., Маркерт, Р., Лян, М. (2026). Спектральный эксцесс для обнаружения неисправностей, диагностики и прогнозирования вращающихся машин: обзор

5. с приложениями. Механическая система. Сигнальный процесс, 66, 679–698. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2015.04.014>
6. Лей, Ю., Янг, Б., Цзян, Х., Цзя, Ф., Ли, Н. & Нанди, А.К. (2020). Применение машинного обучения для диагностики неисправностей в машине: обзор и дорожная карта. Механическая система. Сигнальный процесс. 2020, 138, 106587. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2019.106587>
7. Мехала, Н. (2010). Мониторинг состояния и диагностика неисправностей асинхронного двигателя с использованием анализа сигнатур тока двигателя. Электр. Eng. 2010, 2, 175. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104411>
8. Ду, К., Ли, Х., Тао, М., & Ванг, С. Экспериментальное исследование характеристик акустической эмиссии (АЭ) и классификации трещин при разрушении породы в нескольких основных лабораторных испытаниях. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2020, 133, 104411. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104411>

### References

1. Ali, A., Zhou, L., Khan, A., Ullah, Z., Ahmad, N., & Ahmad, I. (2024). An intelligent computing methodology for two-phase flow performance assessment of electrical submersible pump using artificial neural network and synthetic minority over-sampling technique. Measurement, 244, 116512. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.116512>
2. Vahidi, M., Amini, S., Liaghat, A. M., & Zehtabian, G. R. (2025). Multi-depth soil moisture estimation via 1D convolutional neural networks from drone-mounted ground penetrating radar data. Computers and Electronics in Agriculture, 232, 110104. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110104>
3. Preite, L., & Vignali, G. (2024). Artificial intelligence to optimize water consumption in agriculture: A predictive algorithm-based irrigation management system. Computers and Electronics in Agriculture, 223, 109126. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109126>
4. R, S., Thakur, M., Sharma, S., & Garg, S. (2023). A novel autonomous irrigation system for smart agriculture using AI and 6G enabled IoT network. Microprocessors and Microsystems, 101, 104905. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2023.104905>
5. Zholdangharova, G. I., Kalimoldaev, M. N., Akhmetzhanov, M. A., & Ziyatbekova, G. Z. (2025). Algorithm of the pump unit's monitoring (Author's Certificate No. 54889, issued February 19, 2025). AITUM.
6. Wang, Y., Xiang, J., Markert, R., & Liang, M. (2016). Spectral kurtosis for fault detection, diagnosis and prognostics of rotating machines: A review with applications. Mechanical Systems and Signal Processing, 66, 679–698. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2015.04.014>
7. Lei, Y., Yang, B., Jiang, X., Jia, F., Li, N., & Nandi, A. K. (2020). Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap. Mechanical Systems and Signal Processing, 138, 106587. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2019.106587>
8. Mehala, N. (2010). Condition monitoring and fault diagnosis of induction motor using motor current signature analysis. Electrical Engineering, 2, 175. <https://doi.org/10.4236/epe.2010.23026>
9. Du, K., Li, X., Tao, M., & Wang, S. (2020). Experimental study of acoustic emission (AE) characteristics and crack classification during rock failure in several standard laboratory tests. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 133, 104411. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104411>

## КОНВОЛЮЦИЯЛЫҚ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН СУАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ СОРҒЫ ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ ҚАЛДЫҚ РЕСУРСЫН БОЛЖАУ АЛГОРИТМІН ӘЗІРЛЕУ

**Аңдатпа.** Бұл мақалада суару жүйелерінде қолданылатын сорғылардың қалдық қызмет ету мерзімін бақылау және болжау әдістері қарастырылады. Бұл зерттеудің өзектілігі сорғы жабдықтарының сенімділігі мен тиімділігін арттыру, күтпеген бұзылулардың ықтималдығын азайту және техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыру қажеттілігімен байланысты.

Бұл зерттеу суару жүйесінің қалдық қызмет ету мерзімін (RUL) болжаудың жоғары дәлдіктегі әдісін жасауға және қолдануға бағытталған. Әдістің негізінде конволюциялық нейрондық желіні (CNN) пайдалану жатыр.

**Зерттеу міндеттері:**

Сорғы жабдықтарының техникалық жағдайын бақылау мен болжаудың қолданыстағы әдістерін зерттеу.

Екі параллель деректерді өңдеу арналары бар конволюциялық нейрондық желі (CNN) архитектурасын әзірлеу: уақыт және уақыт-жиілік.

Діріл және температура датчиктерінен келетін деректерді жинау, өңдеу және талдау үшін "AITUM" бағдарламалық кешенін құру.

Сорғы жабдықтарына техникалық қызмет көрсету жүйелерінде әдісті қолдану бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Терең оқытуға негізделген инженерлік әдіс RUL сорғыларын болжаудың жоғары дәлдігін көрсетеді, бұл жалпы қабылданған тәсілдерден айтарлықтай асып түседі. Сорғы жүйелерінің нақты деректері бойынша бірқатар тәжірибелер жүргізілді, бұл жабдықтың деградация заңдылықтарын анықтауға көмектесті. Бұл технологияны қолдану апаттық істен шығу қаупін азайтуға, пайдалану шығындарын азайтуға және жабдыққа уақтылы техникалық қызмет көрсету арқылы суару жүйелерінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** қалдық ресурсты болжау (RUL), IoT сенсорлары, CNN, суару жүйелерінің сорғы агрегаттары, деректерді зияткерлік талдау алгоритмі

## DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR PREDICTING THE RESIDUAL LIFE OF PUMPING EQUIPMENT IN IRRIGATION SYSTEMS BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

**Abstract.** This article considers ways of monitoring and predicting the residual life of pumps used in irrigation systems. The relevance of this research is due to the need to improve the reliability and efficiency of pumping equipment, reduce the probability of unexpected failures, and optimise maintenance costs.

This study aims to develop and apply a high accuracy method for predicting the remaining useful life (RUL) of an irrigation system. The method is based on the use of convolutional neural network (CNN).

**Research Objectives:**

Study of existing methods for monitoring and predicting the technical condition of pumping equipment.

Development of convolutional neural network (CNN) architecture with two parallel channels of data processing: temporal and time-frequency.

Creation of the software complex 'AITUM' for collection, processing and analysis of data coming from vibration and temperature sensors.

Development of recommendations on application of the method in pumping equipment maintenance systems.

The constructed method on the basis of deep learning shows high accuracy of RUL prediction of pumps, which significantly exceeds the generally accepted approaches. A series of experiments on real data of pumping systems were conducted, which helped to discover the degradation patterns of the equipment. Application of this technology will reduce the risk of emergency failures, reduce operating costs and increase the efficiency of irrigation systems due to timely maintenance of equipment.

**Keywords.** residual life prediction (RUL), IoT sensors, CNN, pump units of irrigation systems, data mining algorithm.

#### Сведение об авторах

Жолдангарова Гульнар Игибаевна	Докторант НАО "Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева" по образовательной программе: 8D06104 - Вычислительная техника и программное обеспечение. г.Астана, Казахстан E-mail: <a href="mailto:zholdangarova9443@gmail.com">zholdangarova9443@gmail.com</a> ,
Калимолдаев Максат Нурадилович	д.ф.-м.н, профессор Почетный советник директора ИИВТ. Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК. г.Алматы, Казахстан, E-mail: <a href="mailto:mnk@ipic.kz">mnk@ipic.kz</a> ,
Искаков Казизат Такуадинович	д.ф.-м.н, профессор кафедры «Компьютерной и программной инженерии» НАО "Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева" г.Астана, Казахстан, E-mail:kazizat@mail.ru
Тен Татьяна Леонидовна	д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Цифровая инженерия и IT-аналитика» Карагандинского университета Казпотребсоюза, г.Караганда, Казахстан E-mail:tentl@mail.ru
Есмагамбетова Маржан Муратовна	PhD, доцент кафедры «Цифровая инженерия и IT-аналитика» Карагандинского университета Казпотребсоюза, г.Караганда, Казахстан E-mail:marzhan1983@mail.ru

#### Авторлар туралы мәлімет

Жолдангарова Гульнар Игибайқызы	«Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» ҰАО 8D06104 – Есептеу техникасы және бағдарламалық қамтамасыз ету білім беру бағдарламасы бойынша докторанты. Астана, Қазақстан, E-mail: <a href="mailto:zholdangarova9443@gmail.com">zholdangarova9443@gmail.com</a> ,
Калимолдаев Максат Нурадилұлы	Физика-математика ғылымдарының докторы, Бас директордың кеңесшісі, құрметті бас директор, бас ғылыми қызметкер, зертхана меңгерушісі, ҚР Ұлттық Ғылым Академиясының академигі, профессор. ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеу технологиялары институты. Алматы, Қазақстан, E-mail: <a href="mailto:mnk@ipic.kz">mnk@ipic.kz</a> ,
Ысқақов Казизат Такуадинұлы	Физика-математика ғылымдарының докторы, «Компьютерлік және бағдарламалық техника» кафедрасының профессоры Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Астана, Қазақстан E-mail:kazizat@mail.ru
Тен Татьяна Леонидовна	т.ғ.д., Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті «Цифрлық инженерия және IT-аналитика» кафедрасының меңгерушісі, профессор, Қарағанды, Қазақстан, E-mail:tentl@mail.ru
Есмагамбетова Маржан Мұратқызы	PhD, Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті «Цифрлық инженерия және IT-аналитика» кафедрасының доценті, Қарағанды, Қазақстан E-mail:marzhan1983@mail.ru

**Information about the authors**

Zholdangarova Gulnar	Doctoral student of the NAO "L.N. Gumilyov Eurasian National University" in the educational program: 8D06104 - Computer engineering and software, Astana, Kazakhstan, E-mail: <a href="mailto:zholdangarova9443@gmail.com">zholdangarova9443@gmail.com</a> ,
Kalimoldayev Maksat	Advisor to General Director, Honorary General Director, Chief Scientist, Academician of NAS RK, Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Institute of Information and Computational Technologies of the KN MNVO RK. Almaty, Kazakhstan, E-mail: <a href="mailto:mnk@ipic.kz">mnk@ipic.kz</a> ,
Iskakov Kazizat	Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Computer and Software Engineering of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Astana, Kazakhstan, E-mail: <a href="mailto:kazizat@mail.ru">kazizat@mail.ru</a>
Ten Tatyana	doctor of Technical Sciences, head of the Department "Digital engineering and IT analytics" of Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Professor, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: <a href="mailto:tentl@mail.ru">tentl@mail.ru</a>
Yesmagambetova Marzhan	PhD, associate professor of the Department of digital engineering and IT Analytics, Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: <a href="mailto:marzhan1983@mail.ru">marzhan1983@mail.ru</a>