

Джамалбек Алиаскарович Тусупов – доктор физико-математических наук, профессор кафедры информационных систем; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: tussupov_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

Шахмаран Журсинбекович Сеилов* – кандидат технических наук, профессор кафедры компьютерной и программной инженерии; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: seilov_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

Авторлар туралы мәліметтер

Данияр Серікұлы Шыңғысов – ақпараттық жүйелер кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: shingissov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5716-4506>.

Джамалбек Алиасқарұлы Тусупов – физика-математика ғылымдарының докторы, ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: tussupov_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

Шахмаран Жұрсінбекұлы Сеилов* – техника ғылымдарының кандидаты, компьютерлік және программалық инженерия кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: seilov_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

Information about the authors

Daniyar Serikovich Shingissov – PhD student, Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: shingissov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5716-4506>.

Dzhamalbek Aliaskarovich Tussupov – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Information Systems; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: tussupov_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

Shakhmaran Zhursinbekovich Seilov* – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Computer and Software Engineering; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: seilov_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

Поступила в редакцию 20.02.2025

Поступила после доработки 20.04.2025

Принята к публикации 21.04.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2\(18\)-7](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-7)

МРНТИ: 50.41.25



**Т.С. Жылкыбаев¹, А.Д. Золотов^{1*}, Б.К. Копабаева¹, Н.К. Алгазинов², Д.А. Жумагажинов¹,
Г.Ж. Шуйтенов³**

¹Шәкәрім университет,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

²Торайгыров университет,

140000 Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова 64

³Esil university,

040005, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Жубанова, 7

*e-mail: Azol64@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОДООЧИСТНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ

Аннотация: Целью исследования в данной статье является совершенствования работы городских водоочистных сооружений, использующих биологическую очистку с использованием нейросетевых технологий. Перед управлением аэрацией в аэротенке нейросеть обрабатывает объем поступающих сточных вод (датчики расхода и уровня измеряют объем поступающих сточных вод, скорость потока и его динамику). Датчики растворённого кислорода контролируют уровень кислорода в аэротенке, что является критически важным для работы микроорганизмов. Например, если прогнозируется увеличение объёма воды, система заранее увеличивает подачу кислорода. Постоянный сбор данных с датчиков позволяет сравнивать фактические параметры с прогнозными, корректируя работу системы в режиме реального времени. Интеграция

предсказательной аналитики с системами управления аэротенками позволяет добиться синергетического эффекта: 1 – Прогнозирование параметров поступающих сточных вод обеспечивает возможность заранее корректировать работу системы, 2 – Адаптивное управление аэрацией и состоянием активного ила снижает энергопотребление и повышает эффективность биологической очистки. Непрерывный мониторинг и обратная связь позволяют системе динамически реагировать на изменения, обеспечивая стабильность процесса и предотвращая аварийные ситуации. Таким образом, нейросетевые алгоритмы, в сочетании с SCADA-системами, формируют основу интеллектуальной автоматизации очистных сооружений, что способствует не только улучшению качества очистки сточных вод, но и значительной экономии энергетических ресурсов, снижению эксплуатационных затрат и повышению экологической безопасности.

Ключевые слова: Инновации, аэротенк, нейронные сети, прогнозирование, программное обеспечение, сточные воды:skr.

1. Введение

По данным Института мировых ресурсов, Центрально-Азиатский регион находится в красной зоне по ресурсам и потреблению питьевой воды[1-4]. Среди азиатских стран Казахстан также входит в красную зону, где проблема дефицита водных ресурсов является серьезной проблемой. Например, согласно [4] к 2050 году дефицит питьевой воды в Казахстане, по прогнозам, утроится. Поэтому необходимо кардинально пересмотреть вопросы рационального использования водных ресурсов. Поэтому требования к рациональному использованию водных ресурсов приобретают острую актуальность.

Ключевую роль в обеспечении безопасности, предотвращая загрязнение водных ресурсов и сводя к минимуму негативное воздействие сточных вод на окружающую среду играют очистные сооружения. Нехватка водных ресурсов обусловлена большим загрязнением мирового океана и сброс в него сточных вод, не прошедших первичную очистку. Поэтому все большее значение приобретает проблема рационального использования водных ресурсов и особенно очищение возрастающих объемов сточных вод.

Очистка сточных вод производится на очистных сооружениях в два этапа. Первый этап механическая очистка является очисткой от видимых отходов. Второй этап биологическая очистка, является окончательной очисткой. После окончания биологической очистки, вода сливается к потребителю. Поэтому биологическая очистка сточных вод является важным элементом системы водоочистных сооружений.

В практике разработки и применения систем управления объектами водоотведения и очистки сточных вод есть много примеров применения интеллектуальных систем управления, как отдельными агрегатами, так и объектами водоотведения в целом [5 - 11]. В связи с важностью проблемы решением общих вопросов разработки интеллектуальных технологий управления занимаются много отечественных и зарубежных компаний [12-14].

Однако традиционные методы управления процессами очистки часто сопровождаются рядом проблем: низкой энергоёмкостью, стандартизацией контроля качества воды и непредсказуемыми нагрузками.

Часто функционирование очистных сооружений характеризуется значительной неравномерностью поступления сточных вод и существенными колебаниями в них концентрации загрязнителей [15].

После обработки такие стоки содержат загрязняющие вещества в концентрациях, превышающих допустимые значения, что нарушает процессы в сложившихся экосистемах. Неэффективная очистка приводит к превышению предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ.

Сточные воды поступают неравномерно, с разными концентрациями загрязняющих веществ. Требуется гибкая система управления, адаптирующаяся к этим изменениям, что позволит своевременно реагировать на количество поступающей воды в аэротенк и заблаговременно подбирать требуемые технологические параметры для качественной очистки поступающих загрязнений.

Аэротенк – это сооружение для биологической очистки сточных вод, в котором микроскопические организмы (активный ил) разлагают органические загрязнения с помощью кислорода. Этот процесс имитирует природное самоочищение воды, но проходит гораздо быстрее благодаря искусственной аэрации. Основные этапы работы аэротенка:

1. Поступление сточных вод

- Загрязнённая вода поступает в аэротенк из механических очистных сооружений (отстойников), где удалены крупные примеси.
- Вместе с водой в аэротенк поступает активный ил – это биомасса бактерий и микроорганизмов, которые разлагают органические вещества.

2. Аэрация (насыщение кислородом)

- В аэротенке поддерживается постоянная подача кислорода, который необходим бактериям для разложения органических загрязнений.
- Кислород поступает через аэраторы или диффузоры, создавая интенсивное перемешивание сточных вод и активного ила.

3. Биохимическое окисление загрязнений

- Бактерии и микроорганизмы поглощают органические вещества (БПК – биохимическое потребление кислорода) и превращают их в углекислый газ, воду и новую биомассу.
- В аэротенке также происходит нитрификация – процесс превращения аммиака в нитраты.

4. Отделение очищенной воды от активного ила

- Смесь воды и активного ила направляется во вторичный отстойник, где ил оседает, а очищенная вода уходит на дальнейшую фильтрацию или в водоём.
- Часть осевшего активного ила возвращается обратно в аэротенк, поддерживая нужную концентрацию бактерий (рециркуляция).

5. Выведение избыточного ила. Часть активного ила, который размножился в процессе очистки, удаляется из системы для последующей переработки (анаэробное сбраживание, компостирование и т. д.).

6. Высокая эффективность очистки (до 98% удаление органических загрязнений).

Широкое применение аэротенков обусловлено следующими преимуществами:

- Высокая эффективность очистки (до 98% удаление органических загрязнений).
- Экологичность – использование природных биопроцессов без химии.
- Возможность автоматизации (датчики кислорода, расхода, pH и нейросетевые алгоритмы управления).

Но есть и недостатки. Это прежде всего нестабильность подачи очищаемой воды в аэротенк, высокие энергозатраты на аэрацию, высокие энергозатраты на работу системы в периоды пиковой нагрузки, которые могут возникать в различные моменты времени.

Существующие системы автоматической очистки не обеспечивают быстрого реагирования на изменение состава и количества сточных вод. Кроме того, они энергозатратны. Так как наиболее энергоёмкий процесс это аэрация, на который приходится до 50–60% потребления электроэнергии очистными сооружениями [16].

Одним из вариантов решения данной проблемы это использование нейросетевых моделей и алгоритмов прогнозирования для своевременной корректировки очистительных процессов.

По данным различных исследований в сфере энергоэффективности очистных сооружений, предсказательная аналитика может снизить общее энергопотребление до 25–30% за счёт:

- Оптимизации насосного оборудования.
- Интеллектуального управления аэрацией.
- Снижения энергозатрат на химическую обработку.
- Предотвращения аварийных ситуаций.
- Оптимизации работы вторичных отстойников и фильтров [17, 18]

Предсказательная аналитика позволит не только минимизировать выбросы загрязняющих веществ в природные водоёмы, но и снизит энергозатраты, так как дает возможность заблаговременно регулировать работу насосного оборудования, снижая ненужные пиковые нагрузки и исключить перерасход электроэнергии. В результате энергозатраты насосов снижаются на 10–20% и обеспечит соблюдение норм сброса сточных вод [19].

Кроме того предсказательная аналитика поможет оптимизировать подачу воздуха в зависимости от качества и объёма поступающих сточных вод, снижая энергопотребление воздухоподувок на 20–30%.

Автоматическое прогнозирование состава сточных вод позволяет так же точно дозировать реагенты, исключая их перерасход.

Это уменьшает затраты на перекачивание и смешивание химических веществ, снижая потребление электроэнергии на 5-15%.

Анализ данных о загрязнённости воды позволяет автоматически настраивать процессы осаждения и фильтрации. Это позволяет уменьшить время работы вспомогательных систем очистки и так же способствует снижению энергозатрат.

Внедрение предсказательной аналитики в очистные сооружения позволяет не только сократить энергозатраты, но и повысить эффективность очистки, снизить эксплуатационные расходы и продлить срок службы оборудования. Это важный шаг на пути к устойчивому развитию и снижению экологического следа предприятий ЖКХ и промышленности.

2. Методы исследования

На первом этапе были проведены исследования поступления сточных вод на очистные сооружения города Семей Республики Казахстан. Исследования проводились с 2021 по 2023 год. И 2024 год взят для верификации.

Аэротенки очень чувствительны к неравномерности притока сточных вод. Коэффициент неравномерности притока влияет на удовлетворительную работу не только аэротенков, но и вторичных отстойников, так как система управления поступления кислорода не может адекватно реагировать на неравномерность притока, что ведет к чрезмерной регенерации воды аэротенк-отстойник, влияет на качество ила, используемого для биологической очистки, а следовательно и на качестве работы очистных сооружений в целом. В качестве целевой функции примем коэффициент суточной неравномерности притока сточных вод [21].

$$K_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{макс.сут}}}{Q_{\text{ср.сут}}} \quad (1)$$

Где $Q_{\text{ср. сут.}}$ – средне суточный прирост воды ,

$Q_{\text{макс. сут.}}$ – Максимальный прирост воды в сутки по месяцам.

По проведенным исследованиям рассмотрим нейросетевое прогнозирование поступление воды в течении суток на языке программирования Python, с применением библиотеки scikit-learn. Выбор данного языка программирования выбран потому что Scikit-learn является одной из популярных библиотек для работы с машинным обучением в Python. В данной библиотеке представлено большое количество алгоритмов машинного обучения, включающих классификацию, регрессию, кластеризацию.

В нашем случае происходит загрузка данных с датасета, состоящего из двух значений:

1 Дата в формате год-месяц-день;

2 Значения поступающей воды на очистные сооружения.

Было решено производить предсказание с помощью метода Windowing. Данный метод основан на том, что создаются «скользящие окна», который часто используется с последовательными данными или временными рядами. Вместо того чтобы обучать модель на всем временном ряду, происходит разбиение данных на окна, определенной длины. Где происходит обучение модели предсказывать следующее значение, на основе предыдущего окна.

Полученные данные из датасета обрабатываются с помощью библиотеки:

1. Данные в датасет сортируются по дате
2. Определена функция для создания перекрывающихся окон, метод Windowing
3. Данные делятся на тренировочные train data и тестовых test data.
4. Для каждого окна происходит чистка пустых значений
5. Обратно сборка в массивы и заполнение пустых мест средним значением
6. Обучение модели и выполнение прогнозов
7. Производим прогнозирование с помощью различных моделей Машинного обучения:
 - Модель MLP (Multilayer Perceptron) – это классическая нейросеть, состоящая из нескольких слоёв «искусственных нейронов» (рис. 1).
 - Модель Support Vector Regression (Регрессия на основе метода опорных векторов). это вариант алгоритма опорных векторов (SVM), предназначенный для регрессии, то есть прогнозирования не классов, а непрерывных числовых значений (рис. 2).

– Модель Lasso – Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (Лассо-регрессия,)- это линейная модель регрессии с регуляризацией, которая минимизирует сумму квадратов ошибок (как обычная линейная регрессия), но добавляет штраф к весам коэффициентов (рис. 3).

– Модель KNN – K-Nearest Neighbors (Метод k-ближайших соседей). Это один из простейших и интуитивно понятных алгоритмов машинного обучения, который применяется для классификации, регрессии, а также иногда для кластеризации и выявления аномалий (рис. 4)

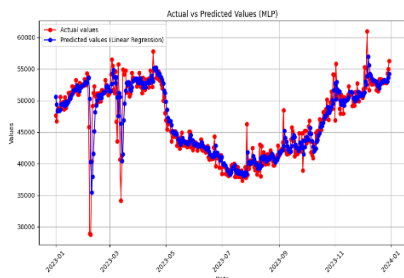


Рисунок 1

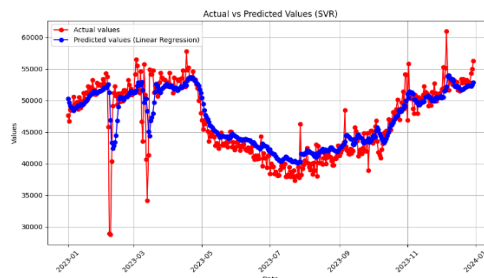


Рисунок 2

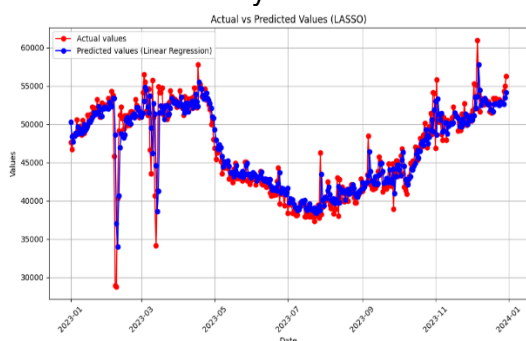


Рисунок 3

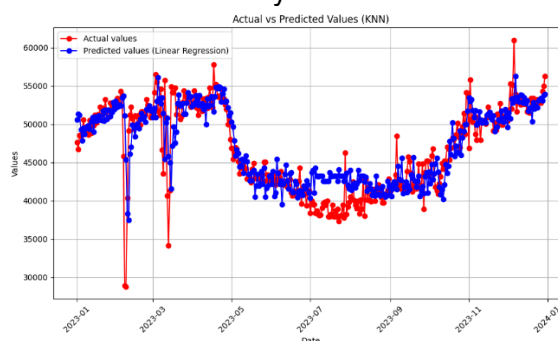


Рисунок 4

Полученные результаты выводятся на графиках, где показаны оригинальные данные и предсказанные данные с помощью моделей. Предсказанные данные записываются в отдельных файлах, для дальнейшей обработки при необходимости.

Производим расчет коэффициента детерминации, который показывает насколько хорошо модель предсказывает зависимую переменную. Чем ближе коэффициент детерминации к 1 единице, тем лучше произошло предсказание.

Производим расчет коэффициента детерминации, который показывает насколько хорошо модель предсказывает зависимую переменную.

Наилучшие показатели получены при использовании модели MLP. $R^2=0.93$. При увеличении количества наблюдений данный коэффициент будет стремиться к 1.

Полученная нейросеть будет использоваться для оптимизации управления аэрацией, снижая энергозатраты и повышая эффективность очистки сточных вод. Они анализируют прогнозные данные о поступающих сточных водах и динамически регулируют работу аэраторов и компрессоров.

Перед управлением аэрацией в аэротенке нейросеть обрабатывает:

– Объем поступающих сточных вод (датчики расхода и уровня измеряют объем поступающих сточных вод, скорость потока и его динамику. Датчики растворённого кислорода (DO). Контролируют уровень кислорода в аэротенке, что является критически важным для работы микроорганизмов. Например, если прогнозируется увеличение объема воды, система заранее увеличивает подачу кислорода. Постоянный сбор данных с датчиков позволяет сравнивать фактические параметры с прогнозными, корректируя работу системы в режиме реального времени.

– Концентрацию растворённого кислорода в аэротенках. Исходя из концентрации кислорода (DO), нейросеть рассчитывает минимально необходимую мощность аэрации для поддержания нужного уровня биологической активности. При снижении биохимического потребления кислорода (БПК) уменьшается подача воздуха, что сокращает энергопотребление компрессоров.

Химический состав сточных вод. Химические датчики измеряют pH, концентрацию аммония, нитратов, органических веществ (БПК, ХПК) и другие показатели, влияющие на биологические процессы очистки.

Температурные и вибрационные датчики отслеживают температуру воды и состояние оборудования (например, компрессоров и аэраторов).

Прогнозные данные автоматически передаются через SCADA-систему в систему управления очистными сооружениями, где они используются для корректировки параметров работы оборудования данные могут быть переданы так же в центральный сервер, где они доступны для анализа.

Нейросеть проводит контроль состояния активного ила. Прогнозные данные позволяют адаптировать режимы рециркуляции активного ила. Если ожидается увеличение органической нагрузки, система может увеличить возвращение активного ила для поддержания необходимой концентрации микроорганизмов. С другой стороны, при снижении нагрузки можно уменьшить объём возвращаемого ила, предотвращая его разжижение и ухудшение процесса осаждения.

Вывод:

Интеграция предсказательной аналитики с системами управления аэротенками позволяет добиться синергетического эффекта:

- Прогнозирование параметров поступающих сточных вод обеспечивает возможность заранее корректировать работу системы.
- Адаптивное управление аэрацией и состоянием активного ила снижает энергопотребление и повышает эффективность биологической очистки.

Непрерывный мониторинг и обратная связь позволяют системе динамически реагировать на изменения, обеспечивая стабильность процесса и предотвращая аварийные ситуации.

Таким образом, нейросетевые алгоритмы, в сочетании с SCADA-системами, формируют основу интеллектуальной автоматизации очистных сооружений, что способствует не только улучшению качества очистки сточных вод, но и значительной экономии энергетических ресурсов, снижению эксплуатационных затрат и повышению экологической безопасности.

Список литературы

1. Мировые ресурсы питьевой воды: прогнозы и реальность. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mistersaver.ru/blog/mirovye-resursy-pitevoy-vody-prognozy-i-realnost/>.
2. ООН-водные ресурсы. Вода для жизни. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.un.org/ru/waterforlifedecade/sanitation.shtml>.
3. ВОЗ. Питьевая вода. Основные факты. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
4. Как Казахстан решает проблему дефицита питьевой воды в эпоху нефтяного лидерства в Центральной Азии? [Электронный ресурс]. URL: <https://cabar.asia/ru/kak-kazakhstan-reshaet-problemu-defitsita-pitevoj-vody-v-epohu-neftyannogo-liderstva-v-tsentralnoj-azii>.
5. Бебихов Ю.В. Проектирование и разработка инновационной автоматической системы биологической очистки сточных вод / Ю.В. Бебихов и др. // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 7. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-i-razrabotka-innovatsionnoy-avtomaticheskoy-sistemy-biologicheskoy-ochistki-stochnyh-vod/viewer>.
6. Системное интеллектуальное решение для канализационных насосных станций Wilo-Rexa SOLID-Q + Nexos Intelligence. [Электронный ресурс]. URL: <https://elit-nasos.ru/articles/sistemnoe-intellektualnoe-reshenie-dlya-kanalizatsionnyh-nasosnyh-stantsij-wilo-rexa-solid-q--nexos-intelligence/>.
7. Интеллектуальные решения PumpSmart® MV для высоковольтных систем управления ротационным оборудованием на базе частотного регулирования. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ittproservices.com/ittgp/medialibrary/ITTPROServices/website/Literature/Brochures/PRO%20Services/PumpSmartMV_RUS.pdf?ext=.pdf.
8. Интеллектуальные решения Grundfos для канализации. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.ru/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://www.grundfos.com/content/dam/loca/ru-ru/page-assets/support/documents/leaflets/wastewater-intelligent-solutions-70239184->

0617.pdf&ved=2ahUKEwiH9J-

StfL2AhWitYsKhfqkCRUQFnoECAUQAg&usg=AOvVaw0_dLNjIQfZPAxgcLmDrWQR.

9. Богачук Ю.Ф. Интеллектуальная система управления электроцентробежными насосами для нефтяных скважин (ИНТЭС) / Ю.Ф. Богачук // Автоматизированные системы добычи нефти. – 2011. – № 11. [Электронный ресурс]. URL: http://neft-gaz-povacii.ru/NGN_11_11_%D0%91%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D1%87%D1%83%D0%BA.pdf.

10. Швецов Д. Интеллектуальные сети водоснабжения / Д. Швецов // Системная интеграция. – 2015. – № 1. – С. 22-27.

11. Ильясов Б.Г. Интеллектуальная автоматизированная система управления установкой электроцентробежного насоса / Б.Г. Ильясов, А.В. Комелин, К.Ф. Тагирова. // Вестник УГАТУ. Управление, ВТ и И. – 2007. – Т. 9, № 2(20). – С. 58-70.

12. Интеллектуальные технологии управления. Группа компаний «АСУ-Технология». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.asu-tech.ru/articles/intellektualnye-tehnologii-upravleniya.html>.

13. «Сименс» завершила два проекта по цифровизации водоснабжения и водоотведения в Австрии. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2021-02-08_simens_zavershila_dva_proekta.

14. Умные технологии для водных ресурсов от компании Xylem. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.xylem.com/ru-ru/about-xylem/newsroom/press-releases/-----xylem/>.

15. Пушин Д.В. Динамическая модель биологической очистки сточных вод как объекта управления / Д.В. Пушин, М.А. Назаров // Тезисы докладов II международной (XV региональной) научной конференции: «Техногенные системы и экологический риск». Обнинск: НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 65-66.

16. Смирнов, Д.Н. Автоматизация процессов очистки сточных вод химической промышленности / Д.Н. Смирнов, А.С. Дмитриев. – Л.: Химия, 1981. – 200 с.

17. Энергоэффективность очистных сооружений канализации: выбор метода сравнительного анализа / В.И. Баженов и др. // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2023. – № 5. – С. 50-56.

18. Уханов А.С. Какие методы искусственного интеллекта нашли применение в сфере водоснабжения и водоотведения / А.С. Уханов // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2025. – № 1 – С. 39-47.

19. Ковалев В.З. Энергосберегающие алгоритмы управления взаимосвязанным электроприводом центробежных турбомеханизмов / В.З. Ковалев, В.Ю. Мельников, Е.Г. Бородацкий. – Омск: ОмГТУ, 2000.

20. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – Москва Издательство «АКВЛПРОС», 2003. – 512 с.

References

1. Mirovye resursy pit'evoi vody: prognozy i real'nost'. [Ehlektronnyi resurs]. URL: <https://www.mistersaver.ru/blog/mirovye-resursy-pitevoy-vody-prognozy-i-realnost/>. (In Russian).

2. OON-vodnye resursy. Voda dlya zhizni. [Ehlektronnyi resurs]. URL: <https://www.un.org/ru/waterforlifedecade/sanitation.shtml>. (In Russian).

3. VOZ. Pit'evaya voda. Osnovnye fakty. [Ehlektronnyi resurs]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. (In Russian).

4. Kak Kazakhstan reshaet problemu defitsita pit'evoi vody v ehpokhu neftyannogo liderstva v Tsentral'noi Azii? [Ehlektronnyi resurs]. URL: <https://cabar.asia/ru/kak-kazahstan-reshaet-problemu-defitsita-pitevoj-vody-v-epohu-neftyannogo-liderstva-v-tsentralnoj-azii>. (In Russian).

5. Bebikhov YU.V. Proektirovanie i razrabotka innovatsionnoi avtomaticheskoi sistemy biologicheskoi ochistki stochnykh vod / YU.V. Bebikhov i dr. // Innovatsii i investitsii. – 2021. – № 7. [Ehlektronnyi resurs]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-i-razrabotka-innovatsionnoy-avtomaticheskoy-sistemy-biologicheskoy-ochistki-stochnykh-vod/viewer>. (In Russian).

6. Sistemnoe intellektual'noe reshenie dlya kanalizatsionnykh nasosnykh stantsii Wilo-Rexa SOLID-Q + Nexos Intelligence. [Ehlektronnyi resurs]. URL: <https://elit-nasos.ru/articles/sistemnoe-intellektualnoe-reshenie-dlya-kanalizatsionnykh-nasosnykh-stantsij-wilo-rexa-solid-q--nexus-intelligence/>. (In Russian).

7. Intellektual'nye resheniya PumpSmart® MV dlya vysokovol'tnykh sistem upravleniya rotatsionnym oborudovaniem na baze chastotnogo regulirovaniya. [Ehlektronnyi resurs]. URL:

- https://www.ittproservices.com/ittgp/medialibrary/ITTPROServices/website/Literature/Brochures/PRO%20Services/PumpSmartMV_RUS.pdf?ext=.pdf. (In Russian).
8. Intellektual'nye resheniya Grundfos dlya kanalizatsii. [Elektronnyi resurs]. URL: https://www.google.ru/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://www.grundfos.com/content/dam/locall/ru-ru/page-assets/support/documents/leaflets/wastewater-intelligent-solutions-70239184-0617.pdf&ved=2ahUKEwiH9J-StfL2AhWitYsKHfqkCRUQFnoECAUQAg&usg=AOvVaw0_dLNjIQfZPAxgcLmDrWQR. (In Russian).
9. Bogachuk YU.F. Intellektual'naya sistema upravleniya ehlektrotsentrobezhnymi nasosami dlya neftyanykh skvazhin (INTEHS) / YU.F. Bogachuk // Avtomatizirovannye sistemy dobychi nefii. – 2011. – № 11. [Elektronnyi resurs]. URL: http://neft-gaz-novacii.ru/NGN_11_11_%D0%91%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D1%87%D1%83%D0%BA.pdf. (In Russian).
10. Shvetsov D. Intellektual'nye seti vodosnabzheniya / D. Shvetsov // Sistemnaya integratsiya. – 2015. – № 1. – S. 22-27. (In Russian).
11. Il'yasov B.G. Intellektual'naya avtomatizirovannaya sistema upravleniya ustanovkoi ehlektrotsentrobezhnogo nasosa / B.G. Il'yasov, A.V. Komelin, K.F. Tagirova. // Vestnik UGATU. Upravlenie, VT i I. – 2007. – T. 9, № 2(20). – S. 58-70. (In Russian).
12. Intellektual'nye tekhnologii upravleniya. Gruppy kompanii «ACU-TekhnologiiYA». [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.asu-tech.ru/articles/intellektualnye-tehnologii-upravleniya.html>. (In Russian).
13. «SimenS» zavershila dva proekta po tsifrovizatsii vodosnabzheniya i vodootvedeniya v Avstrii. [Elektronnyi resurs]. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2021-02-08_simens_zavershila_dva_proekta. (In Russian).
14. Umnye tekhnologii dlya vodnykh resursov ot kompanii Xylem. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.xylem.com/ru-ru/about-xylem/newsroom/press-releases/-----xylem/>. (In Russian).
15. Pushin D.V. Dinamicheskaya model' biologicheskoi ochistki stochnykh vod kak ob'ekta upravleniya / D.V. Pushin, M.A. Nazarov // Tezisy dokladov II mezhdunarodnoi (XV regional'noi) nauchnoi konferentsii: «Tekhnogennye sistemy i ehkologicheskii risk». Obninsk: NIYAU MIFI, 2018. – S. 65-66. (In Russian).
16. Smirnov, D.N. Avtomatizatsiya protsessov ochistki stochnykh vod khimicheskoi promyshlennosti / D.N. Smirnov, A.S. Dmitriev. – L.: Khimiya, 1981. – 200 s. (In Russian).
17. Ehnergoeffektivnost' ochistnykh sooruzhenii kanalizatsii: vybor metoda sravnitel'nogo analiza / V.I. Bazhenov i dr. // Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya. – 2023. – № 5. – S. 50-56. (In Russian).
18. Ukhanov A.S. Kakie metody iskusstvennogo intellekta nashli primenenie v sfere vodosnabzheniya i vodootvedeniya / A.S. Ukhanov // Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya. – 2025. – № 1 – S. 39-47. (In Russian).
19. Kovalev V.Z. Ehnergosberegayushchie algoritmy upravleniya vzaimosvyazannym ehlektroprivodom tsentrobezhnykh turbomekhanizmov / V.Z. Kovalev, V.YU. Mel'nikov, E.G. Borodatskii. – Omsk: OMGU, 2000. (In Russian).
20. Zhmur N.S. Tekhnologicheskie i biokhimicheskie protsessy ochistki stochnykh vod na sooruzheniyakh s aehrotenkami / N.S. Zhmur. – Moskva Izdatel'stvo «AKVLROS», 2003. – 512 s. (In Russian).

**Т.С. Жылкыбаев¹, А.Д. Золотов^{1*}, Б. Копабаева¹, Н.К. Алгазинов², Д.А. Жумагажинов¹,
Г.Ж. Шуйтенов³**

¹Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

²Торайғыров университеті,
140000 Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломов к-сі, 64

³Esil university,
040005, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жубанов к-сі, 7

*e-mail: Azol64@mail.ru

СУ ТАЗАРТУ ҚҰРЫЛЫСТАРЫН БАСҚАРУДЫҢ ЗИЯТКЕРЛІК ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖҰМЫСЫН ЗЕРТТЕУ

Осы мақаладағы Зерттеудің мақсаты-нейрондық желі технологияларын қолдана отырып, биологиялық тазартуды қолданатын қалалық су тазарту қондырғыларының жұмысын жетілдіру. Аэротенктегі аэрацияны басқарар алдында нейрожелі кіретін ағынды сулардың көлемін өңдейді

(ағын мен деңгей датчиктері кіретін ағынды сулардың көлемін, ағынның жылдамдығын және оның динамикасын өлшейді. Еріген оттегі датчиктері аэротенктегі оттегінің деңгейін бақылайды, бұл микроорганизмдердің жұмысы үшін өте маңызды мысалы, егер су көлемінің ұлғаюы болжанса, жүйе оттегінің берілуін алдын ала арттырады. Датчиктерден деректерді үнемі жинау нақты параметрлерді болжамды параметрлермен салыстыруға, жүйенің жұмысын нақты уақыт режимінде реттеуге мүмкіндік береді. Болжалды аналитиканы аэротенктерді басқару жүйелерімен біріктіру синергетикалық әсерге қол жеткізуге мүмкіндік береді: 1 – кіретін ағынды сулардың параметрлерін болжау жүйенің жұмысын алдын – ала түзетуге мүмкіндік береді, 2 – аэрацияны және белсенді тұнба күйін адаптивті басқару энергияны тұтынуды азайтады және биологиялық тазарту тиімділігін арттырады. Үздіксіз бақылау және кері байланыс жүйенің өзгерістерге динамикалық жауап беруіне мүмкіндік береді, процестің тұрақтылығын қамтамасыз етеді және төтенше жағдайлардың алдын алады. Осылайша, нейрондық желі алгоритмдері SCADA жүйелерімен бірге Ағынды суларды тазарту сапасын жақсартуға ғана емес, сонымен қатар энергия ресурстарын айтарлықтай үнемдеуге, пайдалану шығындарын азайтуға және экологиялық қауіпсіздікті арттыруға ықпал ететін тазарту қондырғыларын интеллектуалды автоматтандырудың негізін құрайды.

Түйін сөздер: инновация, аэротенк, нейрондық желілер, болжау, бағдарламалық қамтамасыз ету, ағынды сулар.

T.S. Zhylykybayev, A.D. Zolotov^{1*}, B. Kopabaeva¹, N.K. Algazinov², D.A. Zhumagazhinov¹, G. Shuitenov³

¹Shakarim University,

120 A Glinka St., Semey, 071412, Republic of Kazakhstan

²Toraigyrov University,

64 Lomova St., Pavlodar, 140000 Republic of Kazakhstan

³Esil university,

040005, Kazakhstan, Astana, Zhubanova street 7

*e-mail: Azol64@mail.ru

INVESTIGATION OF THE OPERATION OF INTELLIGENT WATER TREATMENT PLANT MANAGEMENT SYSTEMS

The purpose of the research in this article is to improve the operation of urban water treatment plants using biological purification using neural network technologies. Before controlling aeration in the aeration tank, the neural network processes the volume of incoming wastewater (flow and level sensors measure the volume of incoming wastewater, flow rate and its dynamics). Dissolved oxygen sensors monitor the oxygen level in the aeration tank, which is critical for the work of microorganisms, for example, if an increase in water volume is predicted, the system increases the oxygen supply in advance. The constant collection of data from sensors allows you to compare the actual parameters with the predicted ones, correcting the operation of the system in real time. The integration of predictive analytics with aerotank control systems allows for a synergistic effect: 1 – Forecasting the parameters of incoming wastewater provides an opportunity to adjust the system operation in advance, 2 – Adaptive control of aeration and activated sludge reduces energy consumption and increases the efficiency of biological treatment. Continuous monitoring and feedback will allow the system to dynamically respond to changes, ensuring process stability and preventing emergencies. Thus, neural network algorithms, combined with SCADA systems, form the basis for intelligent automation of wastewater treatment plants, which contributes not only to improving the quality of wastewater treatment, but also to significant savings in energy resources, reducing operating costs and improving environmental safety.

Key words: Innovations, aerotank, neural networks, forecasting, software, wastewater.

Сведения об авторах

Тұрсынхан Саятұлы Жылқыбаев – преподаватель кафедры IT технологий; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail zhitosya@mail.ru.

Александр Дмитриевич Золотов* – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры IT технологий; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail azol64@mail.ru.

Бахытгуль Кадырхановна Копабеева – докторант кафедры IT технологий; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail kbahyt_73@mail.ru.

Наркен Кайрулаевич Алгазинов – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Электротехника и автоматизация», Торайгыров университет; e-mail: narkenalgazinov@gmail.com.

Динмухамед Аскарлович Жумагажинов – студент группы АУ 101 кафедры IT технологий; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail zhumagazhinov1970@mail.ru.

Габит Жумабаевич Шүйтенов – кандидат педагогических наук, доцент, проректор по стратегии и цифровизации Esil university, Республика Казахстан; e-mail: g.shuitenov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1042-0415>.

Авторлар туралы мәліметтер

Тұрсынхан Саятұлы Жылқыбаев – IT технологиялар кафедрасының оқытушысы; Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail zhitosya@mail.ru.

Александр Дмитриевич Золотов* – техника ғылымдарының кандидаты, IT технологиялар кафедрасының қауымдастырылған профессоры; Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail azol64@mail.ru.

Бақытгүл Қадырханқызы Көпабаева – IT технологиялар кафедрасының докторанты; Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail kbahyt_73@mail.ru.

Наркен Қайрулайұлы Алғазин – техника ғылымдарының магистрі, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасының аға оқытушысы, Торайғыров университеті; e-mail: narkenalgazinov@gmail.com.

Дінмұхамед Асқарұлы Жұмағажин – IT технологиялар кафедрасының АУ 101 тобының студенті; Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail zhumagazhinov1970@mail.ru.

Габит Жумабаевич Шүйтенов – педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, стратегия және цифрландыру бойынша проректор; Esil university; Қазақстан; e-mail: g.shuitenov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1042-0415>.

Information about the authors

Tursinkhan Sayatuly Zhylykybayev – lecturer at the Department of IT Technologies; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail zhitosya@mail.ru.

Alexander Dmitrievich Zolotov* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of IT Technologies; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail azol64@mail.ru.

Bakhytgul Kadyrkhanovna Kopabayeva – PhD student of the Department of IT Technologies; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail kbahyt_73@mail.ru.

Narken Kairulayevich Algazinov – Master of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Electrical Engineering and Automation, Toraigyrov University; e-mail: narkenalgazinov@gmail.com.

Dinmukhamed Askarovich Zhumagazhinov – student of AU 101 group of the Department of IT Technologies; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: zhumagazhinov1970@mail.ru.

Gabit Shuitenov – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Strategy and Digitalization of Esil University, Republic of Kazakhstan; e-mail: g.shuitenov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1042-0415>.

Поступила в редакцию 21.04.2025

Поступила после доработки 29.04.2025

Принята к публикации 30.04.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2\(18\)-8](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-8)

МРНТИ: 81.93.29



К.М. Сагиндыков¹, Д.Ж. Сатыбалдина¹, Ф.Б. Тебуева², Т.А. Айдынов¹, А.К. Шайханова*

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, улица К. Сатпаева, 2

²ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

*e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz

ИССЛЕДОВАНИЕ УЯЗВИМОСТЕЙ ПЛАТФОРМ И ПРОТОКОЛОВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ

Аннотация: В работе представлены результаты исследования безопасности распространенных платформ и протоколов Интернета вещей на основе анализа известных баз данных уязвимостей, а также практического эксперимента по аудиту сети устройств Интернета вещей с использованием современных методов тестирования на проникновение. Реализован алгоритм сбора и извлечения релевантных данных из базы Common Vulnerabilities and Exposures (CVE). Разработан веб-интерфейс интерактивной CVE таблицы, который реализует задачи обработки и представления больших объемов данных в удобном и наглядном формате. Анализ проведен для выявления наиболее критичных уязвимостей, которые должны быть минимизированы новым протоколом аутентификации устройств Интернета вещей и для формирования конкретных требований к протоколу, направленных на минимизацию выявленных уязвимостей. В