

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2025-49-104-108>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Качаев А.Е., Турапин С.С.

*Всероссийский научно-исследовательский институт орошения и
сельхозводоснабжения «Радуга», Коломна, Россия*

Ключевые слова: искусственный интеллект, гидротехнические сооружения, безопасность, мониторинг, прогнозирование, диагностика, автоматизация.

Аннотация. Статья посвящена исследованию возможностей искусственного интеллекта и его применению для повышения безопасности гидротехнических сооружений мелиоративных систем. Рассматриваются современные методы диагностики, мониторинга и предиктивного анализа, а также перспективы автоматизации процессов, связанных с безопасной эксплуатацией гидротехнических сооружений. Обоснована необходимость внедрения искусственного интеллекта для своевременного выявления опасных ситуаций и снижения рисков аварий и техногенных ситуаций.

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ENSURE SAFETY OF HYDRAULIC STRUCTURES

Kachaev A.E., Turapin S.S.

*All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply
"Raduga", Kolomna, Russia*

Keywords: artificial intelligence, hydraulic structures, security, monitoring, forecasting, diagnostics, automation.

Abstract. The article is devoted to the study of the capabilities of artificial intelligence and its application to improve the safety of hydraulic structures of melioration systems. Modern methods of diagnostics, monitoring and predictive analysis are considered, as well as prospects for automating processes related to the safe operation of hydraulic structures. The need for the introduction of AI for the timely detection of hazardous situations and reducing the risks of accidents and man-made situations is substantiated.

Введение. Гидротехнические сооружения, такие как плотины, дамбы, водохранилища и каналы, являются основными инженерными объектами мелиоративных систем, обеспечивающими важные социальные и экономические функции – водоснабжение, гидроэнергетику, предотвращение затоплений. Надежность их функционирования – залог стабильного развития региона и предотвращения чрезвычайных ситуаций с потенциально тяжелыми последствиями для людей и окружающей среды.

На сегодняшний день одна из главных задач – обеспечить высокий уровень безопасности такой инфраструктуры. Аварии, разрушения и технологические сбои могут привести к катастрофическим последствиям. Вследствие этого актуальной становится задача разработки новых методов обнаружения потенциальных дефектов [1], их своевременного

предупреждения и автоматизации систем управления. В этих целях все шире внедряются современные информационные технологии, в первую очередь – искусственный интеллект (ИИ).

ИИ способен повысить эффективность систем мониторинга, диагностики и прогнозирования на гидрообъектах за счет обработки больших объемов данных, автоматического анализа динамики состояния сооружений и быстрого принятия решений. Эта статья посвящена исследованию возможностей и перспектив применения ИИ для повышения уровня безопасности гидротехнических сооружений [2].

Многие гидротехнические объекты эксплуатируются десятилетиями и требуют постоянного контроля за состоянием конструкции и окружающей среды. Традиционные методы мониторинга – это поверхностные осмотры, регламентные обследования, статические системы датчиков, ручной анализ данных, что нередко приводит к задержкам в обнаружении признаков опасных разрушений.

Рост объемов данных благодаря развитию сети сенсоров, видеонаблюдению и дистанционному зондированию создает необходимость автоматизированных систем обработки. Искусственный интеллект способен: обеспечить непрерывное наблюдение и быстрое реагирование на изменения; обнаруживать малозаметные дефекты, неуловимые для человека; предсказывать развитие аварийных ситуаций на основании исторических данных и текущих трендов; повысить безопасность и надежность эксплуатации.

На фоне ухудшения климатической ситуации, увеличения уровня водных рисков и необходимости снижения человеческого фактора применение ИИ становится особенно актуальным [3].

Цель данной работы – всесторонне проанализировать существующие и перспективные методы применения искусственного интеллекта для повышения уровня безопасности гидротехнических сооружений, выявить наиболее эффективные подходы к диагностике, мониторингу и прогнозированию, а также определить основные направления развития и внедрения данных технологий в практику эксплуатации.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели использовались следующие методы:

1. Обзор научной литературы и существующих технологий – сбор и анализ публикаций, стандартов и практических решений в области ИИ и гидротехнических систем.
2. Моделирование ситуаций и алгоритмов машинного обучения – создание прототипов и тестовых моделей на базе ключевых методов: нейронных сетей, дерева решений, методов обработки сигналов.
3. Сбор и обработка экспериментальных данных – использование данных с датчиков гидрообъектов, а также видеозаписей и спутниковых снимков.

4. Анализ и сравнение эффективности – сравнительное тестирование различных подходов и алгоритмов по метрикам точности, скорости и надежности обнаружения дефектов.

5. Практическая апробация – внедрение разработанных решений на pilot-объектах (например, российских гидроузлах) [4].

Основная часть

1. Технологии ИИ в мониторинге гидротехнических сооружений. Современные системы используют сенсорные сети, собирающие данные о режиме работы и состоянии конструкции: вибрации, температуры, давления, деформаций. Обработка этих массивов данных осуществляется с помощью методов машинного обучения и обработки изображений.

Примеры: использование камер с компьютерным зрением для обнаружения трещин, коррозии или утечек; обработка сигналов от ультразвуковых, индуктивных или пьезоакустических датчиков; внедрение технологий автоматической сегментации и анализа видеозаписей.

2. Диагностика и обнаружение аварийных ситуаций [5]. На основе данных собирается модель диагностики – например, ИИ обучается классифицировать состояния сооружения как безопасное или опасное.

Примеры методов: нейронные сети с глубоким обучением для выявления аномалий в вибрационных характеристиках; алгоритмы кластеризации для обнаружения отклонений от нормальных режимов работы; использование систем экспертных правил для интерпретации сигналов и автоматической диагностики.

3. Прогнозирование и моделирование рисков. Предиктивное моделирование позволяет предсказать развитие дефектов или разрушений, основываясь на множестве факторов: нагрузках, погодных условиях, коэффициентах износа.

Методы: машинное обучение для предсказания роста трещин или деформаций; статистические модели для оценки вероятности наступления аварийных событий; временные ряды и рекуррентные нейронные сети для анализа динамики изменений.

4. Автоматизация принятия решений и реагирование. Создаются системы мгновенного оповещения, способные автоматически запускать аварийные режимы, отключать опасные зоны, инициировать аварийные подготовительные меры.

Пример: реакция системы на появление признаков потери герметичности; автоматическая блокировка участков или изменение режима работы.

5. Преимущества и ограничения внедрения ИИ. Преимущества: высокая точность диагностики и раннего обнаружения дефектов; быстрая обработка больших объемов данных; автоматизация рутинных процессов и снижение человеческого фактора.

Недостатки и ограничения: необходимость наличия качественных и объемных обучающих данных; возможные ошибки систем ИИ, особенно в критичных ситуациях; высокие затраты на внедрение и обслуживание.

6. Практические примеры внедрения и перспективы. На территории России и за рубежом реализованы пилотные проекты по автоматическому мониторингу крупных гидроузлов с использованием ИИ. Например, системы предиктивного обслуживания на канадских гидроэлектростанциях или автоматизированные системы контроля в китайских плотинах. В будущем предполагается объединение систем в единую платформу управления нагрузками и рисками на основе ИИ, а также развитие технологий управляемого самообучения.

Выводы. Использование искусственного интеллекта в системах обеспечения безопасности гидротехнических сооружений позволяет значительно повысить качество и скорость обнаружения потенциальных угроз, своевременно реагировать на изменения и прогнозировать развитие аварийных ситуаций. Это способствует снижению рисков и повышению надежности эксплуатации объектов. Внедрение ИИ требует преодоления технических и организационных барьеров, но перспективы его применения являются очень значительными и актуальными для модернизации гидроэнергетической инфраструктуры на мировом уровне.

Для успешной реализации важно развивать инфраструктуру сбора данных, обучать специалистов по ИИ и внедрять стандарты автоматизации безопасности гидротехнических сооружений.

Список литературы

1. Качаев А.Е., Турапин С.С. Обоснование необходимости разработки комплексных расчетных моделей грунтовых плотин мелиоративных систем // Наука и мир. – 2024. – №3. – С. 1-5. – doi.org/10.26526/2307-9401-2024-3-1-5.
2. Турапин С.С., Ольгаренко Г.В. Методические рекомендации по правилам эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 68 с.
3. Офицеров А.И., Сафонов Д.А. Использование искусственного интеллекта в системах обеспечения комплексной безопасности охраняемого объекта. Экономика. Информатика. – 2023. – Т. 50, №1. – С. 203-210. – doi.org/10.52575/2687-0932-2023-50-1-203-210.
4. Сенников М.Н., Сагин Ж., Толкынбаев Т.Т., Омарова Г.Е., Колбачаева Ж.Е., Рсалиева А.А. Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений с использованием ГИС // Механика и технологии. – 2022. – №4(78). – С. 105-112. – doi.org/10.55956/ETYJ1363.
5. Fatoba J.O., Eluwole A.B., Ademilua O.L., Sanuade O.A. Evaluation of subsurface conditions by geophysical methods at Ureje Earth Dam Embankment, Ado-Ekiti, Southwestern Nigeria – a case study // Indian Journal of Geosciences. 2018, vol. 72, no. 4, pp. 275-282.

References

1. Kachaev A.E., Turapin S.S. Justification of the need to develop complex calculation models of earth dams of melioration systems // Science and World. 2024, no. 3, pp. 1-5. doi.org/10.26526/2307-9401-2024-3-1-5.
2. Turapin S.S., Olgarenko G.V. Methodical recommendations on the rules for the operation of melioration systems and separately located hydraulic structures. – Kolomna: IP Vorobyov O. M., 2015. – 68 p.
3. Ofitserov A.I., Safonov D.A. Use of artificial intelligence in systems for ensuring integrated security of a protected facility. Economy. Informatics. 2023, vol. 50, no. 1, pp. 203-210. doi.org/10.52575/2687-0932-2023-50-1-203-210.
4. Sennikov M.N., Sagin Zh., Tolkynbaev T.T., Omarova G.E., Kolbachaeva Zh.E., Rsalieva A.A. Monitoring the safety of hydraulic structures using GIS // Mechanics and technologies. 2022, no. 4(78), pp. 105-112. doi.org/10.55956/ETYJ1363.
5. Fatoba J.O., Eluwole A.B., Ademilua O.L., Sanuade O.A. Evaluation of subsurface conditions by geophysical methods at Ureje Earth Dam Embankment, Ado-Ekiti, Southwestern Nigeria – a case study // Indian Journal of Geosciences. 2018, vol. 72, no. 4, pp. 275-282.

Качаев Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, научный сотрудник отдела сельхозводоснабжения	Kachaev Alexander Evgenievich – candidate of technical sciences, research fellow of the agricultural water supply department
Турапин Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, врио директора doctor_cement@mail.ru	Turapin Sergey Sergeevich – candidate of technical sciences, leading researcher, acting director

Received 15.09.2025