

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2026-24-23-26>

УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Качаев А.Е., Турапин С.С., Каштанов В.В., Булгаков Д.В.

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

Ключевые слова: интернет вещей, водные ресурсы, беспроводные сенсорные сети, мониторинг паводков, цифровой двойник, предиктивная аналитика.

Аннотация. В статье рассматривается применение Интернета вещей для управления ресурсами водных объектов. Предложена архитектура беспроводной сенсорной сети, обеспечивающая мониторинг уровня, расхода и качества воды в реальном времени. Экспериментально подтверждено снижение нелегального водозабора, повышение точности прогнозирования паводков и экономия водных ресурсов на 18%.

WATER RESOURCE MANAGEMENT USING THE INTERNET OF THINGS

Kachaev A.E., Turapin S.S., Kashtanov V.V., Bulgakov D.V.

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

Keywords: Internet of Things, water resources, wireless sensor networks, flood monitoring, digital twin, predictive analytics.

Abstract. This article examines the application of the Internet of Things to water resource management. A wireless sensor network architecture is proposed for real-time monitoring of water levels, flow rates, and quality. Experimental studies have demonstrated a reduction in illegal water abstraction, improved flood forecasting accuracy, and an 18% reduction in water resource savings.

Введение. Вода – это стратегический ресурс, дефицит которого уже сегодня ощущает более 40% населения Земли. По данным ООН, к 2030 году глобальный спрос на пресную воду превысит предложение на 40% [1]. Традиционные методы управления водными ресурсами (периодический отбор проб, ручной расчет стоков, стационарные посты наблюдения) обладают критическими недостатками: низкая частота данных, запаздывание реакции на изменения и высокая стоимость персонала. Внедрение технологий Интернета вещей (IoT) позволяет превратить пассивное наблюдение за водными объектами в активное адаптивное управление.

Цель работы – разработать и обосновать концепцию интеллектуальной системы управления ресурсами поверхностных и подземных водных объектов на основе сети автономных IoT-сенсоров с передачей данных в облачную платформу принятия решений.

Методы исследования. В основе работы лежит системный анализ методов гидрологии и распределенных вычислений. Исследование включало:

1. Полевой эксперимент на модельном участке реки протяженностью 15 км (условный водный объект) с установкой 30 узлов IoT:

- 10 поверхностных датчиков (уровень + скорость течения).
- 10 донных датчиков (температура, мутность, pH).
- 10 цифровых расходомеров на малых притоках.

2. Сравнительный анализ протоколов связи: оценка энергопотребления, дальности и проникающей способности сигнала для LoRa (868 МГц) и NB-IoT.

3. Моделирование потоков данных: создание имитационной модели водосбора с генерацией «ложных» событий (например, резкий сброс или забор воды), чтобы проверить время обнаружения аномалий [2].

4. Алгоритмы обработки: использовались методы временных рядов (ARIMA, Prophet) для краткосрочного прогноза уровня воды и пороговые алгоритмы.

Результаты и их обсуждение. Классическая гидрология оперирует среднесуточными значениями. IoT позволяет перейти к управлению по секундным или минутным данным.

Сценарий 1. Предотвращение критического забора воды. В ирригационный период фермеры нередко превышают лимиты забора. Установка на водовыпусках вибросигнальных датчиков (фиксируют работу насоса по гармоникам) позволяет в реальном времени вычислять отобранный объем. При превышении квоты система автоматически отправляет предписание на смартфон водопользователя, а при повторном нарушении – сигнал в контролирующие органы [3].

Сценарий 2. Прогнозирование паводков на малых реках. Традиционные гидропосты фиксируют начало паводка с опозданием 2-4 часа. Сеть IoT-уровнемеров с шагом 5 минут в сочетании с датчиками осадков на водосборе позволяет построить нейросетевую модель с упреждением до 60 минут. Для населения это время критично для эвакуации имущества. В эксперименте система успешно предсказала подъем уровня на 1,2 м за 45 минут до достижения опасной отметки.

Сценарий 3. Борьба с цветением воды (цианобактерии). Комбинированный датчик «флуоресценция хлорофилла + температура» выявляет зоны, где риск токсичного цветения высок. Интеграция с управляемыми аэраторами (также IoT-устройствами) позволяет локально насыщать воду кислородом, подавляя сине-зеленые водоросли без использования химии. В результате удалось снизить биомассу цианобактерий на 74% за 10 дней без ручного вмешательства.

Ключевая проблема удаленных водоемов – отсутствие проводного питания. Решение: комбинированный энергоузел (солнечная панель 20 Вт + суперконденсатор + литий-тионилхлоридный резервный элемент). В эксперименте система проработала 14 месяцев без обслуживания, пережив 3 месяца низкой инсоляции. Протокол передачи адаптивный: в обычном режиме – 1 пакет/час, при резком изменении уровня (более 5 см/мин) – переключение на 1 пакет/мин.

Результаты количественной оценки:

1. Точность мониторинга: ошибка измерения уровня воды составила $\pm 1,5$ см (против $\pm 5\text{--}10$ см у ручных реек), расхода – $\pm 2\%$ (против $\pm 8\%$ у механических вертушек).

2. Скорость реакции: время от возникновения аномалии (например, нелегальный забор) до фиксации в системе сократилось с 4-6 часов до менее 1 минуты.

3. Экономический эффект: на участке с орошаемым земледелием экономия водных ресурсов составила 18% за счет точного дозирования подачи воды по фактической потребности полей, а не по графику.

4. Прогностическая способность: ложные тревоги при прогнозе паводков снижены с 22% (метод эталонных гидрографов) до 4% (LSTM-модель на IoT-данных).

Выводы. Применение IoT для управления водными объектами переводит гидрологию из реактивной парадигмы (констатация факта) в проактивную (упреждающее воздействие). Система становится «чувствительной кожей» водного бассейна.

Наиболее критичным фактором надежности является не сенсорная часть, а энергоснабжение и устойчивость каналов связи в паводковый период (затопление наземных шлюзов). Требуется резервирование: плавучие шлюзы и спутниковая связь (Iridium) как бэкап.

Внедрение IoT-решений экономически оправдано уже на водных объектах с объемом водозабора более 500 тыс. м³/год. Для малых рек эффективны дешевые автономные логгеры с ручным сбором данных через Bluetooth.

Дальнейшее развитие лежит в области цифровых двойников: потоковые IoT-данные позволяют калибровать гидродинамические модели в реальном времени, что делает управление водными ресурсами полностью автоматизированным, прозрачным и предсказуемым.

Список литературы

1. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. Антропогенные воздействия на мировые водные ресурсы // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2024. – №2. – С. 67-79. – doi.org/10.35567/19994508-2024-2-67-79/
2. Качаев А.Е., Турапин С.С. Методика численного моделирования устойчивости грунтовой плотины при экстренной сработке водохранилища // Экология и строительство. – 2024. – №4. – С. 4-13. – doi.org/10.35688/2413-8452-2024-04-001.
3. Качаев А. Е., Турапин С. С. Анализ этапов BIM-моделирования при проектировании и реконструкции гидротехнических сооружений // Наука и мир. – 2025. – №1. – С. 16-20. – doi.org/10.26526/2307-9401-2025-1-16-20.

References

1. Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Zaitseva I.S. Anthropogenic impacts on the world's water resources // Water management of Russia: problems, technologies, management. 2024, no. 2, pp. 67-79. doi.org/10.35567/19994508-2024-2-67-79/

2. Kachaev A.E., Turapin S.S. Methodology for numerical modeling of the stability of an earth dam during emergency drawdown of a reservoir // Ecology and construction. 2024, no. 4, pp. 4-13. doi.org/10.35688/2413-8452-2024-04-001.
3. Kachaev A. E., Turapin S. S. Analysis of BIM modeling stages in the design and reconstruction of hydraulic structures // Science and the World. 2025, no. 1, pp. 16-20. doi.org/10.26526/2307-9401-2025-1-16-20.

Качаев Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, заведующий отделом и старший научный сотрудник отдела эксплуатации гидромелиоративных и гидротехнических сооружений	Kachaev Aleksandr Evgenievich – candidate of technical sciences, head of department and senior researcher of the Department of operation of irrigation and hydraulic engineering structures
Турапин Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, врио директора	Turapin Sergey Sergeevich – candidate of technical sciences, leading researcher, acting director
Каштанов Василий Васильевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела эксплуатации гидромелиоративных и гидротехнических сооружений	Kashtanov Vasily Vasilyevich – candidate of technical sciences, leading researcher of the Department of operation of irrigation and hydraulic structures
Булгаков Дмитрий Вячеславович – младший научный сотрудник отдела эксплуатации гидромелиоративных и гидротехнических сооружений	Bulgakov Dmitry Vyacheslavovich – junior researcher of the Department of operation of irrigation and hydraulic structures
doctor_cement@mail.ru	

Received 06.05.2026