

УДК 004.056

Задачи цифровизации водопроводно-канализационных хозяйств с использованием интеллектуальных технологий

И. В. Войтов, В. Н. Штепа 

Белорусский государственный технологический университет,
Минск

E-mail: shtepa@belstu.by

Введение

По оценке аналитиков компании Frost&Sullivan, рынок интеллектуальных систем водоснабжения стран Европы и Америки ожидает рост около 40 % в течение следующих пяти лет. Прогноз основан на исследованиях проблем потребления энергии в системах подготовки воды. В соответствии с данными Агентства США по охране окружающей среды (EPA) предприятия водоснабжения и канализации, как правило, являются одними из крупнейших потребителей энергии, что составляет 30–40 % энергии, используемой на муниципальных предприятиях. Интеллектуальные системы имеют высокую начальную стоимость по сравнению с традиционными, однако они значительно снижают затраты на техническое обслуживание и эксплуатационные расходы [1, 2].

Например, в Германии Федеральный институт гидрологии и Институт интеллектуального анализа и информационных систем Фраунгофера применяют нейросети Echo State Networks (ESN) для составления прогнозов расхода и моделирования уровня воды на реках Рейн и Дунай. Результаты моделей ESN лучше, чем существующая традиционная гидрологическая модель (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning, HBV). Как сообщает ресурс Eurek Alert, специалисты Университета Ватерлоо (University of Waterloo) разработали эффективную систему мониторинга качества питьевой воды с применением искусственного интеллекта (ИИ). В то же время голландский стартап HULO.ai получил финансирование для борьбы с крупномасштабными потерями питьевой воды при водоснабжении с использованием передовых алгоритмов ИИ.

Примеры положительного применения технологий искусственного интеллекта имеются и в Российской Федерации. Так, специалисты Пермского Политеха создали систему предсказания событий и состояния объектов водопроводно-канализационных хозяйств (ВКХ). Ряд скрытых утечек в системе водоснабжения Глазова (Удмуртская Республика) был выявлен

благодаря ИИ с использованием информационной среды «Цифровой водоканал» разработки АО «Росатом Инфраструктурные решения».

Вместе с тем единых комплексов, которые бы обоснованно, интегрированно и синхронно применяли ИИ для решения нескольких технологически-организационных подзадач в целях решения сквозных задач ВКХ, фактически не существует.

Оценка математико-технологических аспектов функционирования организаций ВКХ

Анализ внедрения информационных систем (ИС) в организации ВКХ в Российской Федерации, выполненный профессором В. И. Баженовым, продемонстрировал, что меньше всего внедрено продуктовых решений в технологических сегментах, где их эффективная работа должна базироваться на адекватных математических моделях. В то же время построить последние критически сложно, а иногда, с учетом современного теоретического базиса и развития контрольно-измерительных приборов [3], фактически невозможно.

Среди относительно широко используемых в ВКХ ИТ-решений можно выделить [4]: геоинформационные системы, SCADA-системы гидравлических процессов, складские ИС, складское программное обеспечение, ИС управления планово-финансовыми и бухгалтерскими процессами, SCADA-системы водоподготовки, ИС управления информационными ресурсами предприятий, SCADA-системы сооружений очистки сточных вод, ИС информационной безопасности. Отдельно можно отметить относительно приемлемое применение проектными организациями систем автоматического проектирования. В то же время на недостаточном уровне разработаны ИС, которые бы позволяли в режиме реального времени (приближенно к нему): адаптивно управлять процессами биохимической очистки сточных вод и физико-химической водоподготовки, диагностировать и прогнозировать состояние сетей водоснабжения и водоотведения, адаптивно корректировать техническое обслуживание и ремонт, выполнять информационно-аналитическую оценку лабораторных исследований качества водных растворов, прогнозировать технологические и экологические риски, обеспечивать постоянное обучение современным цифровым технологиям технико-технологических специалистов организаций ВКХ.

Обобщенная схема транспортировки водных ресурсов в современных населенных пунктах изображена на рис. 1.

Исходя из наличия математического базиса описания технологических процессов с возможностью их применения в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) (прежде всего адаптивных), можно разделить такие процессы на формализованные

динамическими математическими моделями, слабо формализованные динамическими математическими моделями, не формализованные динамическими математическими моделями (таблица).

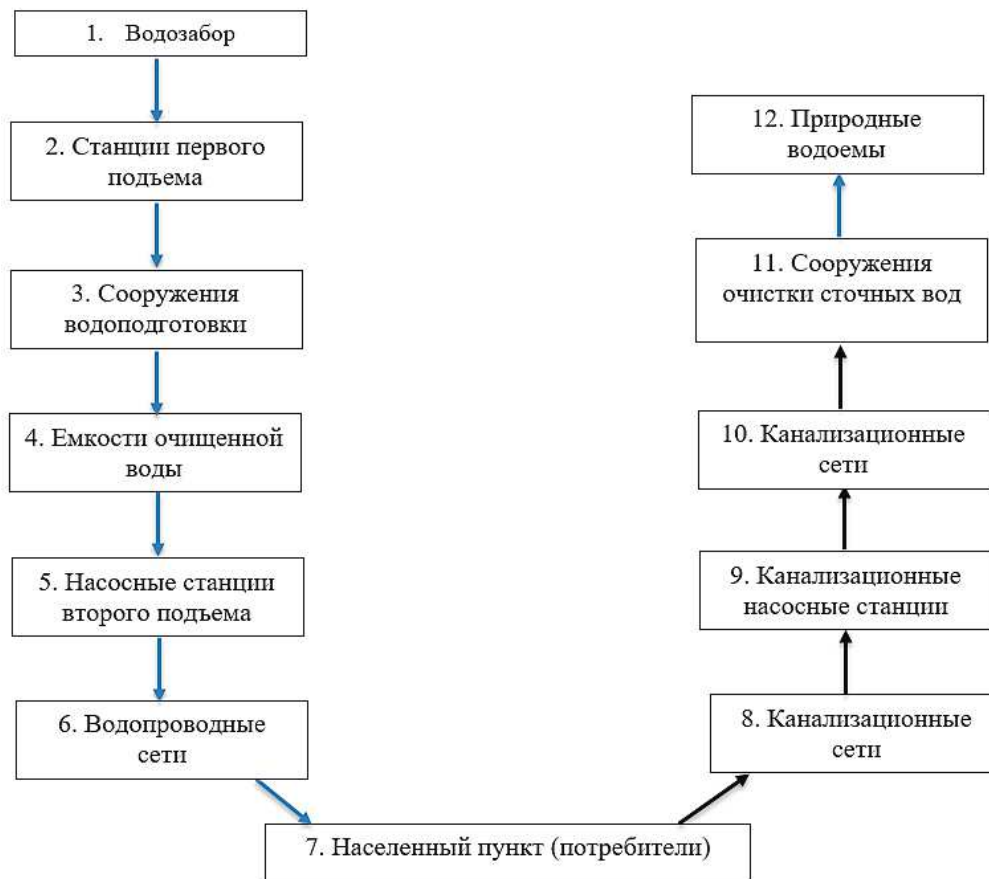


Рис. 1. Обобщенная схема транспортировки водных ресурсов в населенных пунктах (от точки забора до точки сброса)

Название технологического сегмента	Степень формализации процессов динамическими математическими моделями	Комментарии
1. Водозабор	Формализованы	Эффективно используются АСУ ТП
2. Станции первого и второго подъема	Формализованы	Эффективно используются АСУ ТП
3. Сооружения водоподготовки	Слабо формализованы	В основном АСУ ТП функционируют на основе моделей расходов воды, редко показателей качества (рН, электропроводности). Не учитываются био- и физико-химические преобразования в водных растворах

Название технологического сегмента	Степень формализации процессов динамическими математическими моделями	Комментарии
4. Емкости очищенной воды	Формализованы	Эффективно используются АСУ ТП. При этом нет мониторинга и прогноза показателей качества воды
5. Водопроводные сети	Слабо формализованы	Математический базис ориентирован на состояние оборудования – нет мониторинга и прогноза показателей качества воды
6. Канализационные сети	Не формализованы	Нет мониторинга и прогноза показателей качества сточных вод, нет оперативной диагностики состояния сетей
7. Канализационные насосные станции	Слабо формализованы	Математический базис ориентирован на состояние насосного оборудования – нет мониторинга и прогноза показателей качества воды
8. Сооружения очистки сточных вод	Слабо формализованы	В основном АСУ ТП функционируют на основе моделей расходов воды и показателей ее качества (рН, концентрации кислорода, окислительно-восстановительного потенциала). При этом не учитываются био- и физико-химические процессы в водных растворах и происходящие преобразования
9. Природные водоемы	Не формализованы	Нет мониторинга и прогноза экологических рисков для окружающей среды, работа АСУ ТП сооружений очистки сточных вод не учитывает состояния геосистем

При этом транспортировку воды по циклу «забор – природный водоем» необходимо рассматривать как единый комплекс. Соответственно, целесообразно построение интегрированной математической модели. Таким образом, с учетом сложности формализации технологических процессов в ВКХ (нелинейность, неполная изученность био-, физико-химических преобразований, многофакторность, нестационарность) обоснованно

использовать интеллектуальные технологии при решении данной научно-практической проблематики.

Практические задачи применения интеллектуальных технологий в сегменте использования водных ресурсов

Можно предложить следующие укрупненные стратегические задачи внедрения ИИ в ВКХ в рамках наиболее технологически сложного направления «Использование водных ресурсов» [5, 6]:

- создание физико-математических моделей и рабочих мер процессов (там, где нет возможности построить адекватные математические модели);
- формирование и постоянное развитие профильных баз знаний (в том числе для повышения квалификации сотрудников организаций ВКХ без отрыва от производства);
- создание общемуниципальных АСУ ТП управления технологическими процессами водоснабжения и водоотведения (канализации) организаций ВКХ (рис. 2) на основе ИС нового поколения (в сотрудничестве с профильными специалистами).



Рис. 2. Структура общей системы управления по каналу «Отведение и очистка водных ресурсов» с включением промышленных предприятий в единую цифровую АСУ ТП платформенного типа

Такой подход позволит перевести водоснабжение и водоотведение (канализацию) на более высокий технологический уровень с трансформацией их в «Умные водные сети» с общим мониторингом и предиктивным управлением, что критически важно в условиях современных вызовов, связанных с уменьшением запасов мировых питьевых водных ресурсов. Это также позволило бы включить ключевые предприятия — загрязнители населенных пунктов в такой управленческий комплекс и предотвратить (значительно уменьшить) критически опасные залповые выбросы от них, а значит и экологические риски для окружающей среды (рис. 2).

Заключение

Оценка математического обеспечения процессов водоснабжения и водоотведения (канализации) населенных пунктов позволяет сделать выводы о слабой формализации технологических аспектов использования водных ресурсов, что приводит к фактическому отсутствию в большинстве сегментов (станции водоподготовки, водопроводные сети, канализационные сети, канализационные насосные станции, сооружения очистки сточных вод) эффективных мониторинговых и (или) управляющих программно-аппаратных комплексов. Такая ситуация приводит к отсутствию единой АСУ водными ресурсами, без чего невозможно формирование «Умных водных сетей».

Дальнейшие исследования необходимо нацелить на создание соответствующих физико-математических моделей и ИС нового поколения, специализация которых будет заключаться в практическом применении интеллектуальных технологий в ВКХ.

Список использованных источников

1. Асгари, Х. Р. Применение измерений узлового давления при обнаружении утечек / Х. Р. Асгари, М. Ф. Магреби // Измерение расхода и контрольно-измерительные приборы. – 2016. – № 13. – С. 128–134.
2. Alekseevsky, D. G. Formalization of the Task of Creating a Mathematical Model of Combined Wastewater Treatment Processes / D. G. Alekseevsky, Ye. Yu. Chernysh, V. N. Shtepa // Journal of Engineering Sciences. – 2021. – Vol. 8, iss. 2. – P. H1–H7.
3. Штепа, В. Н. Интеллектуальная система анализа и прогноза экологической безопасности биологических сооружений очистки сточных вод / В. Н. Штепа, Н. Ю. Золотых // Первая выставка-форум IT-Академграда «Искусственный интеллект в Беларуси»: сб. докл., Минск, 13–14 окт. 2022 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 41–45. – URL: <http://uiip.bas-net.by/1-forum-it-a/it-a-forum-report.pdf> (дата обращения: 01.09.2024).
4. Штепа, В. Н. Цифровизация водопроводно-канализационного хозяйства с учетом требований экологической безопасности окружающей среды / В. Н. Штепа, Я. Ю. Ерш // Инжиниринг: теория и практика : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 6 мая 2022 г. – Пинск : ПолесГУ, 2022. – С. 45–47.
5. Войтов, И. В. Использование цифровой платформы водоотведения для предупреждения технологических рисков биологической очистки сточных вод / И. В. Войтов, В. Н. Штепа // Инновационные биотехнологии для охраны окружающей среды: от теории к практике : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–25 апр. 2024 г. / Институт микробиологии НАН Беларуси ; организационный комитет конференции: А. А. Шепшелев (пред.) и [др.]. – Минск : ИнМи, 2024. – С. 83–84.
6. Штепа, В. Н. Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятия решений в водоотведении / В. Н. Штепа // Информатика и кибернетика. – 2022. – № 3 (29). – С. 51–57.