

УДК 628.3:621.3

Войтов И.В.¹, ректор, д.т.н., профессор;
Штепа В.Н.¹, заведующий кафедрой
безопасности жизнедеятельности,

д.т.н., доцент,

Охтилев М.Ю.², заведующий кафедрой
компьютерных технологий
и программной инженерии,

д.т.н., профессор,

¹Белорусский государственный
технологический университет»,

Минск, Беларусь;

²Санкт-Петербургского государственного
университета аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ: ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Оценены современные тенденции внедрения и штатного использования цифровых продуктов в рамках «Индустрии 4.0», что в полной мере соответствует задачам подпрограмм «Региональное цифровое развитие» («Умные города») и «Цифровое развитие отраслей экономики» Госпрограммы Республики Беларусь «Цифровое развитие 2021–2025 гг.». Разработаны структурный базис использования цифровых двойников водоснабжения и водоотведения (на примере системы водоотведения) и их функциональные параметры (как интеллектуального платформенного решения) цифровых двойников водоснабжения и водоотведения. Обоснован и создан итерационно-последовательный подход объектно-ориентированного внедрения в организациях водопроводно-канализационных хозяйствах цифровых двойников в сегменте водоснабжения и водоотведения.

Введение. На данный момент в мире имеет место активное использование цифровых решений, так компания UPM-Kymmene внедрила методологию «Индустрия 4.0» для прогнозирования технического обслуживания, что привело к снижению затрат на него на 30% и сокращению незапланированных простоев производства около 20%. Концерн «Stora Enso» активно использует датчики Интернета вещей (IoT) и аналитику данных для оптимизации своей цепочки поставок: это позволило сократить потребления ресурсов на 20% и уменьшить количество отходов на 15%, что подчеркивает успешную цифровую трансформацию в направлении устойчивого развития. Соответственно, использование концепции «Индустрия 4.0» более полно интегрирует цифровые технологии в производственные процессы: автоматизацию и оптимизацию производственных функций, включая использование комплексной автоматизации для сбора и обмена данными между оборудованием и системами мониторинга [1, 2].

Очевидно, что синергетическое применение таких подходов и принципов «Cleaner Production» обеспечит минимизацию выбросов и оптимизацию использования ресурсов

и развития решений, направленных на снижение негативного влияния на окружающую природную среду. При этом значительную экологическую опасность несут некачественно очищенные (неочищенные) сточные воды [3, 4]. Соответственно, комплексное внедрение цифрового моделирования и управления экологической безопасностью водоотведения, очистные сооружения (далее – ОС) являются частью систем водоотведения, актуальная научно-практическая задача. Такое решения в рамках организаций водопроводно-канализационных хозяйств в полной мере соответствуют концептам подпрограмм «Региональное цифровое развитие» («Умные города») и «Цифровое развитие отраслей экономики» (Госпрограмма «Цифровое развитие» на 2021–2025 годы), что нацелено на повышение экономической и экологической эффективности функционирования системы водоотведения населённых пунктов при оптимизации технического обслуживания (модернизации, ремонта) и выполнении нормативных документов экологической безопасности окружающей среды с применением цифровых инструментов.

1. Структурный базис использования цифровых двойников водоснабжения и водоотведения (на примере системы водоотведения). На производственном уровне, для достижения такой стратегических целей цифровой трансформации, необходимо достичь подцели управления отдельными операциями: организация и координация ресурсов (материалов, энергии, оборудования, персонала и информации), планирование операций, управление базами данных, контроль качества сточных вод, обслуживание оборудования, управление запасами посредством прогнозирования. Неопределенность на этом уровне связана с ресурсной (доступность материалов, энергии, оборудования и рабочей силы), технической (отказ оборудования) и управленческой неопределенностями (решения, принятые на производственном уровне, могут быть субъективными и основываться на неоднозначных данных и предположениях), а также связана с колебаниями показателей качества сырья и ресурсов. Тогда структура цифрового двойника, на примере системы водоотведения, должна включать элементы передачи и хранения данных, моделирования, пользовательской среды (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структурная модель цифрового двойника водоотведения

Для эффективного цифрового моделирования (рисунок 1) необходимо решить следующие технологические подзадачи [5]:

- скрининг и прогнозирование критических этапов технологических процессов для исключения неконтролируемого попадания недопустимых концентраций вредных веществ в сточные воды перед очисткой, контроль состояния агрегатов и узлов;
- автоматический контроль (при возможности) состояния водных ресурсов;
- контроль параметров и количества реагентов, вводимых в технологические процессы;
- контроль состояния сырья, поставляемого на объект;
- контроль гидравлических параметров отведения сточных вод (включая расходы сточных вод на отдельных агрегатах перед поступлением на очистные сооружения);
- адаптивное управление и оперативное прогнозирование экологической и ресурсоэффективностей очистных сооружений и их углеродного следа.

Практическая реализация конвергенции физической модели и математических моделей для водоотведения населённого пункта представлена на рисунке 2.

Физическая часть такого цифрового двойника (рисунок 2), помимо «интерфейсных» задач, предназначена для выполнения адаптивной наладки работы системы водоотведения (включая очистные сооружения) путём определения (прогнозирования) в оперативном режиме, максимально приближённом к режиму реального времени:

- состояния параметров системы водоотведения (сеть канализования, насосное оборудование, загазованность помещений, контроль доступа, функционал очистных сооружений) и оценки рисков возникновения нештатных ситуаций;
- необходимости срочного выполнения технического обслуживания и ремонта (далее – ТОиР) оборудования и конструкций, системная адаптация ТОиР;
- эффективных и экологических безопасных режимов функционирования коммунальных очистных сооружений, эффективных и экологических безопасных режимов работы систем водоотведения в целом;
- рисков и реакций на чрезвычайные и опасные для окружающей среды и технологического оборудования ситуаций с минимизацией антропогенного загрязнения окружающей среды;
- запуск реакций программным комплексом, направленных на предупреждение о возникновении аварийных ситуаций;
- ведения технологических баз данных с трансформацией их в базы знаний на основе созданного импортозамещающего программного обеспечения.

2. Функциональный базис цифровых двойников водоснабжения и водоотведения, включая образовательный контент. Функциональная архитектура цифрового двойника водоснабжения и водоотведения будет иметь платформенную архитектуру и включать комплекс (набор) программных компонентов (подсистем), выполняющих соответствующие функции, в составе таких узлов [6]:

1. Подсистема автоматизации проектирования и разработки прикладных решений с использованием инструментария интеллектуального графического интерфейса:

- подготовка исходных данных и знаний с использованием метаязыка описания объектов заданной предметной области;

- разработка алгоритмов функционирования прикладного программного обеспечения с использованием репозитория прикладных модулей (специализированных операторов);
- верификация, проверка полноты, корректировка сформированных исходных данных, генерация исполняемого кода прикладного решения.

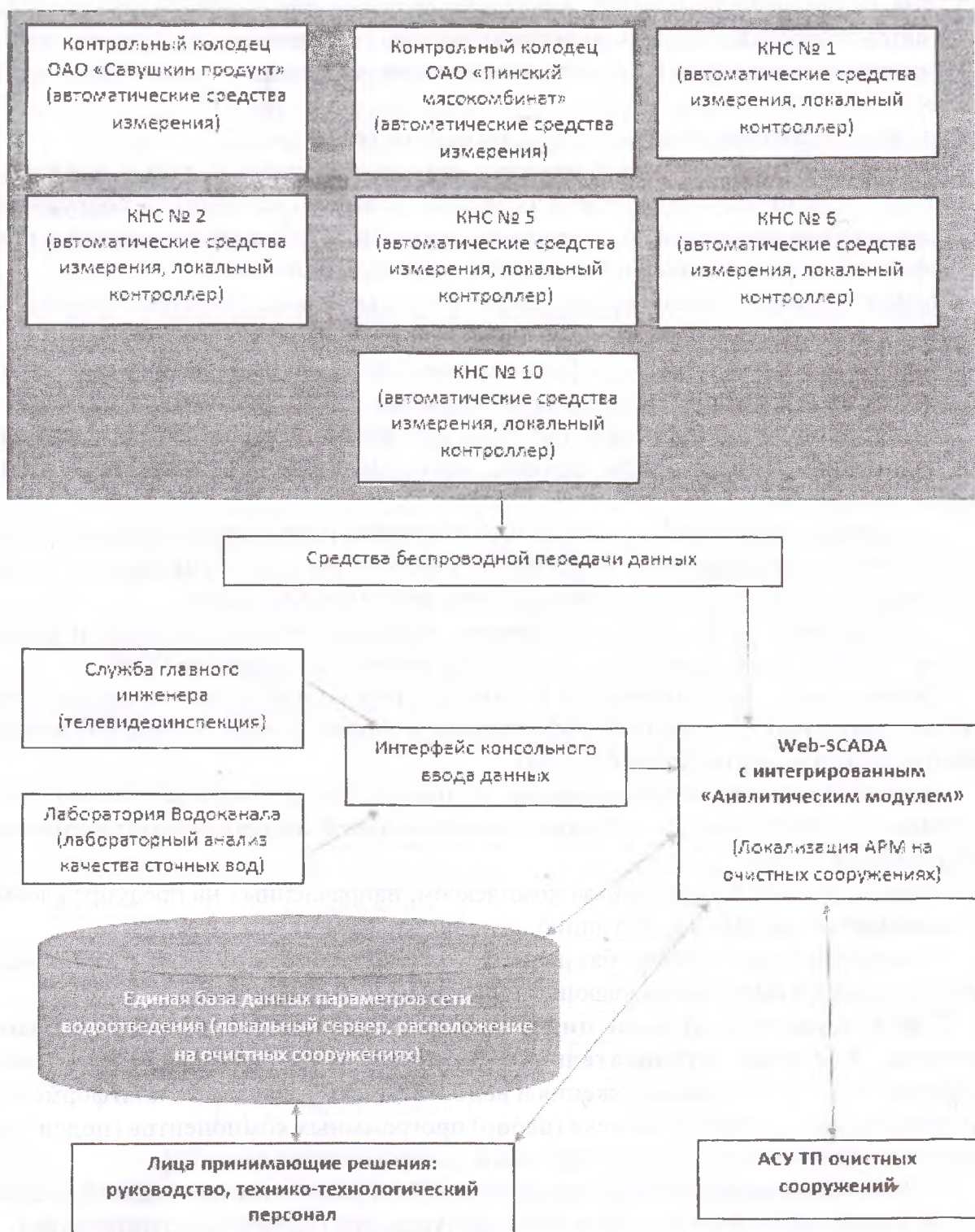


Рисунок 2 – Структурная схема реализации получения оперативной информации о водоотведении населённого пункта (на примере города Пинска)

2. Исполнительная подсистема:
 - интерпретация исполняемого кода;
 - организация и управление процессами вычислений.
3. Подсистема интеграции данных разнородных информационных ресурсов:
 - сбор, обработка и загрузка в БД (оперативные, архивные) измерительной, технологической и организационно-распорядительной информации;
 - сбор и структуризация нечетких сведений;
 - загрузка событийных данных;
 - загрузка данных приложений, корпоративных и наследуемых систем;
 - выделение наиболее значимых данных;
 - повышение достоверности входной информации путем применения наборов адаптивных цифровых фильтров для отбраковки сбоев, аномальных значений, уменьшения избыточности, сжатие (формирование существенных) наборов данных.
4. Подсистема хранения и организации доступа к оперативным и долговременным (архивным) данным:
 - разделение данных для оперативной обработки и решения задач интеллектуального анализа (извлечения знаний);
 - оптимизация структур данных;
 - формирование данных на основе единой модели данных (метаданных);
 - формирование базы данных информации;
 - наполнение базы знаний.
5. Подсистема обработки и анализа – интеллектуальный анализ данных (далее – ИАД):
 - информационно-поисковый анализ;
 - оперативная аналитическая обработка (OLAP – On-line Analytical Processing);
 - интеллектуальный анализ данных (ИАД, DM – Data mining);
 - полимодельное исследование;
 - комплексное имитационное моделирование;
 - автоматический синтез алгоритмов и схем программ ИАД.
6. Подсистема прогнозирования – предиктивная аналитика:
 - анализ текущих и исторических данных с целью прогноза;
 - определение параметров (сущностей), влияющих на прогнозируемые события;
 - формирование модели предиктивной аналитики;
 - аналитика «по запросу».
7. Подсистема генерации решений – генерация и выбор решений, генерация планов, объяснительная возможность:
 - логический вывод рекомендаций на основе онтологии предметной области;
 - выбор оптимальных/квазиоптимальных альтернатив решений;
 - обоснование/объяснение сформированных выводов и решений.
8. Подсистема визуализации и отчетности – интерпретация знаний:
 - интерактивная визуализация (инфографика), таблицы, тренды, диаграммы, 2D-, 3D-мнемосхемы;
 - пространственная визуализация (интеграция с ГИС);
 - использование инструментальных панелей;
 - использование типовых и настраиваемых корпоративных шаблонов.

9. Подсистема взаимодействия с системами информационно-справочного обеспечения и электронного документооборота:

- использование единой системы справочников, классификаторов;
- организация хранения и доступа к данным, формируемым на всех стадиях ЖЦ прикладного решения;
- организация процедур обмена организационно-распорядительной информацией;
- контроль над исполнением заданий и распоряжений.

Таким образом, будет сформировано единое защищённое информационное пространство ВиВ, которое будет обеспечивать обучения персонала организаций ВКХ современным цифровым продуктам без отрыва от выполнения штатных задач.

3. Перечень этапов и необходимой информации об используемых и планируемых к использованию продуктовых решениях, технологических регламентах для начала формирования цифровых двойников ВиВ. Обоснованный перечень действий предпроектного создания цифровых двойников включает ряд итерационно-последовательных этапов (на примере системы водоотведения):

1. Формирование из специалистов организации ВКХ контактной экспертной группы для работы с разработчиками интеллектуальной платформы водоснабжения и водоотведения. На данном этапе предпочтительнее всего специалисты по ИТ, АСУТП и КиП; служб, обслуживающих сети водоотведения; лаборатории контроля качества сточных вод, технологов очистных сооружений.

2. Предоставление следующей необходимой информации:

- общая схема системы водоотведения (отдельно – технологическая схема ОС);
- принципиальная схема используемых на данный момент информационных продуктов АСУТП и КиП в системе водоотведения, включая задачи автоматизации ОС и онлайн диагностики параметров состояния сети водоотведения (в сетях и канализационно-насосных станций);
- планы перспективного развития информационных продуктов АСУТП и КиП, включая ОС и диагностику параметров состояния сети водоотведения;
- используемый регламент диагностики параметров сети водоотведения: состояния оборудования и узлов;
- используемый регламент контроля абонентов сети водоотведения;
- используемый технологический регламент функционирования ОС.

3. Реализация диалога со специалистами контактной экспертной группы – для уточнения и согласований целей проекта и деталей его реализации (при условии оперативного получения ответов на возникающие вопросы).

Только выполнения таких предварительных научно-обоснованных действий, математический анализ результатов, позволит создать действительно комплексные и эффективные системы автоматизации водоснабжения и водоотведения, которые и являются, фактически, практической реализацией цифровых двойников.

Заключение. Технологически обоснованное создание и штатное функционирование цифровых двойников позволит организациям ВКХ эффективно выполнять задачи Указа № 136 «Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопросах информатизации», Указа № 381 «О цифровом развитии», Указа № 604 «О мерах по повышению эффективности работы жилищно-коммунального хозяйства»),

что обеспечит более оптимальное внедрение новых программных продуктов на конкретных объектах.

С эксплуатационной точки зрения такой подход позволит:

- Повысить обоснованность и оперативность принятия решений организациями ВКХ в сегменте ВиВ: уменьшить время принятия решений; снизить количество ошибок при информационном обеспечении; оптимизировать время на поиск и извлечение данных; сократить время планирования.
- Повысить качество и результативность информационного взаимодействия заинтересованных участников за счет повышения степени интегрированности информационных потоков и ресурсов.
- Обеспечить комплексность и синергетический эффект при решении задач информационно-аналитического обеспечения.
- Снизить временные затраты и трудоемкость формирования баз данных и знаний, извлечения, обработки и согласования данных и знаний.
- Достичь полноты, актуальности и достоверности информации о процессах ВКХ.

Список литературы

1. Digitalization of construction organisations – a case for digital partnering / D. Aghimien [et al.] // International Journal of Construction Management. – 2020. – P. 1–10.
2. Technical, economic, and environmental assessment of flare gas recovery system: a case study / S.M. Mousavi [et al.] // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2020. – P. 1–13.
3. О задачах цифровизации систем водоотведения коммунально-промышленных объектов / И.В. Войтов [и др.] // материалы VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «Нефтегазохимия – 2023» Минск, 1–3 ноября 2023 г. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 147–151.
4. Штепа, В.Н. Экспериментальное и объектно-информационное формирование адаптивного технологического паспорта водоотведения предприятия по производству солода / В.Н. Штепа, А.Б. Шикунец // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Биотехнология: достижения и перспективы развития» Пинск, 30 ноября – 1 декабря 2023 г. – Пинск: ПолесГУ, 2023. – С. 283–288.
5. Войтов, И.В. Использование цифровой платформы водоотведения для предупреждения технологических рисков биологической очистки сточных вод / И.В. Войтов, В.Н. Штепа // материалы I Международной научно-практической конференции «Инновационные биотехнологии для охраны окружающей среды: от теории к практике» Минск, 23–25 апреля 2024 г. / Институт микробиологии НАН Беларуси. – Минск: ИнМи, 2024. – С. 83–84.
6. Штепа, В.Н. Структурные схемы цифровых двойников процессов промышленного водоотведения / В.Н. Штепа, В.В. Смелов, Д.С. Карпович // Прикладной искусственный интеллект: перспективы и риски: сборник докладов Международной научной конференции, 17 октября 2024 г. – Санкт-Петербург: ГУАП, 2024. – С. 126–129.