«НОВАЯ» ЭКОНОМИКА: ВЫЗОВЫ И ПРОБЛЕМЫ СТАНОВЛЕНИЯ

“NEW” ECONOMICS: CHALLENGES AND PROBLEMS OF FORMATION

УДК 330.34:628.1-3

И. В. Войтов¹, Е. В. Россоха¹, Э. Н. Муслимов², В. Н. Штепа¹

¹Белорусский государственный технологический университет

²ООО «ЛВО»

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА ЦИФРОВОГО РЕИНЖИНИРИНГА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ХОЗЯЙСТВ

Учитывая значимость водопроводно-канализационного хозяйства для экономики страны, авторы на основе анализа существующих исследований и практик, а также собственных экспертных оценок предложили перечень типовых КРІ для процессов водопроводно-канализационного хозяйства (11 КРІ), описали эффекты для типовых КРІ, обосновали подходы к оценке эффектов при реинжиниринге бизнес-процессов и разработали последовательность поэтапного создания интеллектуальной цифровой платформы управления бизнес-процессами. При реализации мероприятий по реинжинирингу бизнес-процессов, по мнению авторов, следует ориентироваться как на эффекты, определяемые изменением КРІ, так и на инвестиционные эффекты. Они включают реализацию на основе стоимости жизненного цикла и на основе расчета показателей окупаемости. Интеллектуальная цифровая платформа управления бизнес-процессами основана на технологиях: управления производственными процессами как единым информационно-аналитическим пространством, предиктивного обслуживания, роботизированной автоматизации процессов, контроля качества, управления лабораторной информацией, автоматизации прогнозирования, цифрового двойника. Ее реализация предполагает следующие стадии: создание подсистемы оперативного сбора и анализа производственной информации и знаний экспертов с ориентацией на используемые в компании SCADA, базовый инжиниринг и создание цифрового двойника производства, в том числе поставка и монтаж дополнительных контрольно-измерительных приборов, пусконаладка платформы, запуск в штатный режим, гарантийное и сервисное обслуживание цифровой платформы.

Ключевые слова: цифровизация, водопроводно-канализационное хозяйство, экономические эффекты, бизнес-процесс, реинжиниринг.

Для цитирования: Войтов И. В., Россоха Е. В., Муслимов Э. Н., Штепа В. Н. Экономическая парадигма цифрового реинжиниринга бизнес-процессов водопроводно-канализационных хозяйств // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. 2025. № 1 (292). С. 5–12.

DOI: 10.52065/2520-6877-2025-292-1.

I. V. Voitau¹, Ya. V. Rassokha¹, E. N. Muslimov², V. N. Shtepa¹

¹Belarusian State Technological University

²LLC “LWO”

ECONOMIC PARADIGM OF BUSINESS PROCESSES DIGITAL REENGINEERING FOR WATER SUPPLY AND SEWAGE FACILITIES

Considering the importance of the water and sewage systems for the country’s economy, the authors, based on the analysis of existing research and practices, as well as their own expert assessments, proposed a list of typical KPIs for water and sewage systems processes (11 KPIs), described the effects for typical KPIs, substantiated approaches to assessing the effects of business process reengineering, and developed a sequence of step-by-step creation of an intelligent digital platform for business process management.

According to the authors, when implementing business process reengineering activities, one should focus on both the effects determined by changes in KPIs and investment effects. They include implementation based on the life cycle cost and on the calculation of payback indicators. The intelligent digital platform for business process management is based on the following technologies: management of production processes as a single information and analytical space, predictive maintenance, robotic process automation, quality assurance, laboratory information management, forecasting automation, and a digital twin. Its implementation involves the following stages: creation of a subsystem for the operational collection and analysis of production information and expert knowledge, focusing on the SCADA used in the company, basic engineering and creation of a digital twin of production, including the supply and installation of additional instrumentation, commissioning of the platform, launch into normal mode, warranty and service maintenance of the digital platform.

Keywords: digitalization, water and sewage systems, economic effects, business process, reengineering.

For citation: Voitau I. V., Rassokha Ya. V., Muslimov E. N., Shtepa V. N. Economic paradigm of business processes digital reengineering for water supply and sewage facilities. *Proceedings of BSTU, issue 5, Economics and Management*, 2025, no. 1 (292), pp. 5–12 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-6877-2025-292-1.

Введение. Водопроводно-канализационное хозяйство (далее – ВКХ) с точки зрения экономики страны является фундаментальным элементом обеспечения функционирования большинства субъектов хозяйствования необходимым производственным ресурсом, а граждан страны – источником жизнеобеспечения. Этим можно объяснить экономическую подоплеку деятельности ВКХ, заключающуюся, во-первых, в контроле стоимости услуг по водоснабжению и водоотведению (как основных жилищно-коммунальных услуг), во-вторых, в обеспечении качества предоставляемых услуг. В Республике Беларусь экономическое регулирование и стимулирование субъектов хозяйствования сферы ВКХ реализуется через установление тарифов на услугу и штрафов (при несоблюдении требований к качеству воды и сточных вод). Таким образом, в экономическом контексте развитие ВКХ видится в использовании системы мониторинга затрат на реализацию бизнес-процессов (в том числе при их реинжиниринге).

Основная часть. В данном исследовании авторы на основе [1] и собственной практики оперируют следующим пониманием терминов.

Бизнес-процессы (далее – БП) ВКХ – это последовательность однородных действий, преобразующих ресурсы в промежуточный продукт на выходе, создающий частичную ценность для всего процесса ВКХ.

Реинжиниринг бизнес-процессов ВКХ – это переосмысление и пересмотр бизнес-процессов ВКХ в части технологии их реализации для улучшения показателей результативности (KPI – key performance indicators – ключевые индикаторы (показатели) результативности).

Анализ работ [2–7] в области цифровизации ВКХ позволяет предположить неизбежность цифровых решений в управлении БП ВКХ. Однако, несмотря на наличие на рынке многих информационных систем и цифровых платформ, можно

сделать вывод о долгосрочности перспективы их реализации в ВКХ. По мнению авторов, ситуацию можно объяснить отсутствием систем мониторинга оценки БП ВКХ и оценки эффектов от мероприятий по их улучшению. Причем указанная ситуация справедлива как для традиционных решений, так и для цифровых. В связи с обозначенным основными задачами исследования являются:

- определение перечня типовых KPI для процессов ВКХ;
- описание эффектов для типовых KPI;
- разработка подходов к оценке эффектов при реинжиниринге БП;
- предложение поэтапного создания интеллектуальной цифровой платформы управления БП.

Типовые БП ВКХ, KPI и эффекты при реализации. Учитывая специфику ВКХ, которое можно рассматривать как систему циркулярной экономики («вода на входе – вода на выходе»), укрупненно можно выделить следующие БП ВКХ, представленные в табл. 1.

Следует отметить, что экономические эффекты ВКХ определяются в первую очередь качеством организации и реализации БП, в том числе технологии БП и ее составляющих (оборудование, системы, приборы и т. д.). Авторами на основе экспертных оценок установлен перечень типовых KPI и эффектов для всех БП ВКХ (табл. 2).

Указанные в табл. 2 KPI, эффекты и традиционные решения могут являться базовыми при создании системы мониторинга и управления БП в организациях ВКХ. Цифровым решением при реинжиниринге БП рекомендуется распределенная система удаленного сбора и защищенного хранения информации (в том числе по всей сети водоотведения и непосредственно на сооружениях очистки сточных вод), онлайн-анализ и прогноз на основе использования аппаратно-программного обеспечения.

Таблица 1

Укрупненные БП ВКХ

Составляющие процесса	Параметры
БП 1. Доставка воды из природного вод источника	
Вход	Вода в вод источнике
Выход	Вода для водоподготовки
Технология процесса	Сооружения и системы водозабора, станции первого подъема
БП 2. Водоподготовка	
Вход	Вода для водоподготовки
Выход	Вода для потребления
Технология процесса	Сооружения и системы водоподготовки, насосные станции второго подъема, водопроводные сети
БП 3. Потребление (в статье не рассматривается)	
Вход	Вода для потребления
Выход	Вода для водоотведения
Технология процесса	Сооружения и системы потребителя
БП 4. Водоотведение	
Вход	Вода для водоотведения
Выход	Сточные воды для очистки
Технология процесса	Сооружения и системы канализационных сетей, канализационные насосные станции
БП 5. Очистка сточных вод	
Вход	Сточные воды для очистки
Выход	Вода для сброса
Технология процесса	Сооружения и системы очистки сточных вод

Источник. Собственная разработка авторов.

Таблица 2

Типовые КРІ для БП ВКХ и эффекты при их реализации

№ п/п	Перечень КРІ	Целевое значение	Эффекты	Типовые мероприятия для реинжиниринга БП (традиционное решение)
1	Расход электроэнергии на работу сооружений, систем, приборов	Устанавливается в процентах по результатам экспертного анализа	Снижение затрат электроэнергии на единицу продукции (воды) в относительном выражении к предыдущему периоду	Расчетная оценка, программное обеспечение ведения базы данных, анализ экспертом
2	Расходы (кроме электроэнергии) на эксплуатацию, ремонт и обслуживание сооружений, систем, приборов	Устанавливается в процентах по результатам экспертного анализа	Снижение затрат на общепроизводственные расходы на единицу продукции (воды) в относительном выражении	Расчетная оценка, запись показаний в ручном режиме, анализ экспертом
3	КПД (потери воды) по стадиям БП	Устанавливается в процентах по результатам экспертного анализа	Снижение себестоимости на единицу продукции в относительном выражении	Расчетная оценка без возможности оперативного, в том числе инструментального, подтверждения
4	Качество воды по стадиям БП	Устанавливается по результатам экспертного анализа	Отсутствие избыточных затрат на очистку воды в абсолютном выражении и на единицу. Отсутствие штрафов за несоблюдение требований к качеству воды	Инструментально-лабораторный контроль, выполняемый только на территории систем водоподготовки и сооружений очистки сточных вод (исключение: точечный лабораторный контроль отдельных предприятий в сети водоотведения (несколько раз в месяц), при этом контролируется в оперативном инструментальном режиме не более 30% необходимых показателей качества водных растворов

Окончание табл. 2

№ п/п	Перечень КРІ	Целевое значение	Эффекты	Типовые мероприятия для реинжиниринга БП (традиционное решение)
5	Количество случаев несоблюдения сроков полезного использования оборудования	Устанавливается по результатам экспертного анализа	Отсутствие избыточных затрат на общепроизводственные расходы в результате поломок оборудования в абсолютном выражении и на единицу. Снижение себестоимости на единицу продукции в абсолютном и относительном выражениях в результате потерь воды (п. 3)	Экспертная оценка без возможности оперативного, в том числе инструментального, подтверждения (при этом крайне редко в организациях применяется)
6	Количество и продолжительность неплановых потерь времени работы систем, приборов	Устанавливается по результатам экспертного анализа	Отсутствие избыточных затрат на общепроизводственные расходы в абсолютном выражении и на единицу	Экспертная оценка без возможности оперативного, в том числе инструментального, подтверждения (при этом крайне редко в организациях используется)
7	Количество неплановых замен систем, приборов	Устанавливается по результатам экспертного анализа	Отсутствие избыточных затрат на приобретение оборудования	Расчетная оценка без возможности оперативного, в том числе инструментального, подтверждения (при этом крайне редко в организациях применяется)
8	Количество и продолжительность нарушений непрерывности подачи и отвода воды	Устанавливается по результатам экспертного анализа	Отсутствие потерь прибыли за услугу водоснабжения. Отсутствие штрафов за несоблюдение требований к качеству услуги водоснабжения	Расчетная оценка с инструментальным подтверждением и формированием в ручном режиме базы данных
9	Контроль за соблюдением режимов работы систем, приборов	Устанавливается на базе системы контроля	Отсутствие избыточных затрат на приобретение оборудования. Отсутствие избыточных затрат на общепроизводственные расходы (неплановый ремонт) в абсолютном выражении и на единицу	Расчетная оценка, оперативное инструментальное подтверждение, используемое для критически важных систем и приборов
10	Прогнозирование выходов из строя оборудования	Устанавливается на базе системы интеллектуальной цифровой платформы управления производственными процессами	Отсутствие штрафов за несоблюдение требований к качеству сточных вод	Экспертная оценка без возможности оперативного, в том числе инструментального, подтверждения (при этом крайне редко в организациях применяется)
11	Количество превышений загрязнений для БП «Очистка сточных вод»	Устанавливается в соответствии с предельно допустимыми нормативами загрязнения	Отсутствие штрафов за несоблюдение требований к качеству сточных вод	Инструментально-лабораторный контроль на выходе сооружений очистки сточных вод (контролируется в оперативном инструментальном режиме не более 30% необходимых показателей качества водных растворов)

Источник. Собственная разработка авторов.

Подходы к оценке эффектов при реинжиниринге БП (табл. 3). Однако при реализации мероприятий по реинжинирингу БП, по мнению авторов, следует ориентироваться как на эффекты, определяемые изменением КРІ (далее – КРІЭ), так и на инвестиционные эффекты (далее – ИЭ).

Подход, основанный на КРІЭ, включает следующие шаги для реализации в ВКХ [8–10]:

1. Создание модели бизнес-процессов организации. Необходимо создать модель БП, используя нотации BPMN и/или IDEF0, и описать БП с указанием его атрибутов (входы, выходы, технология реализации, ресурсы, владелец и исполнители).

2. Формирование перечня КРІ для каждого БП с указанием целевого (или эталонного) значения (табл. 2).

3. Составление перечня потенциальных мероприятий по каждому БП в случае выявления отклонения от целевого значения КРІ в результате мониторинга.

4. Мониторинг КРІ и реализация мероприятий для реинжиниринга БП.

Таким образом, подход, основанный на КРІЭ, является инструментом мониторинга и оперативного принятия решений при отклонении КРІ от целевых значений.

Таблица 3

Подходы к оценке эффектов при реинжиниринге БП

№ п/п	Реализация на основе СЖЦ	Реализация на основе расчета показателей окупаемости
1	Выбор необходимого нового оборудования по двум вариантам (как минимум), расчет стоимости приобретения с учетом доставки и монтажа по вариантам	
2	Расчет величины годовых эксплуатационных затрат на протяжении срока полезного использования оборудования по вариантам	
3	Расчет СЖЦ нового оборудования по вариантам [11]	Расчет показателей сравнительной с текущим (базовым) вариантом эффективности инвестиций, включая расчет сравнительных показателей: экономии затрат, срока окупаемости
4	Выбор варианта оборудования с наименьшей СЖЦ к приобретению	Выбор варианта оборудования с лучшими показателями сравнительной эффективности

Примечания: 1. При реализации на основе СЖЦ в случае отсутствия аналога вторым вариантом является заменяемое оборудование. – 2. При реализации на основе расчета показателей окупаемости за базовый вариант может применяться аналог или заменяемое оборудование.

Подход, основанный на ИЭ, используется при обновлении (приобретении, замене) оборудования (систем, приборов и т. п.) БП ВКХ и может быть реализован на основе расчета показателей окупаемости и/или стоимости жизненного цикла (далее – СЖЦ).

Во введении к статье отмечалось о перспективности цифровых решений в сфере ВКХ. Поэтому авторами на основе [12–15] предлагается поэтапное создание интеллектуальной цифровой платформы управления БП.

Предложение поэтапного создания интеллектуальной цифровой платформы управления БП (далее – ИЦПУ). К основным преимуществам технологии ИЦПУ относятся:

- детальные данные и знания о БП;
- глубокое понимание механизмов работы всего комплекса оборудования предприятия, параметров контролируемых технологических процессов и их взаимосвязи, использования ресурсов;
- прогноз и анализ сценариев, в том числе возможность моделирования различных эксплуатационных ситуаций, тестирование технических инноваций, изучение протекания производственных процессов и систем на основе оперативных данных или базы знаний производства, помощь в принятии решений о техническом обслуживании производственной линии, корректировка расхода ресурсов и их планирование;
- многоподходное полимодельное моделирование с возможностью комбинировать дискретно-событийные данные о состоянии оборудования, существующих параметров каждой технологической схемы и системную динамику для точной идентификации и визуализации реальной ситуации, вырабатывать на основе моделирования правильное и обоснованное решение любых задач;
- наглядность предоставления различных массивов информации и знаний, результатов моделирования сценариев, простота предостав-

ления информации для управления производством – помощь в принятии решений по оптимизации технологических процессов и решение задач различной сложности;

– распределенность и удаленность сбора информации и знаний с различных точек производственного контроля, параметров технических средств и дополнительной информации экспертных заключений.

ИЦПУ основана на следующих технологиях:

1) управление производственными процессами как единым информационно-аналитическим пространством (OLAP, MES, SCADA) – решение задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации технологических процессов в рамках производства и группы производств;

2) предиктивное обслуживание (PdM – predictive maintenance) – помощь в распознавании и оценке даже тех мелких изменений в состоянии оборудования, которые не выявляются при стандартной проверке/дефектовке и диагностике; выявление условий, способных вызвать неисправности/отказ и вмешаться, прежде чем они произойдут. Минимизирует потери от простоев производства, обеспечивает безопасную и безаварийную эксплуатацию дорогостоящего оборудования;

3) Robotic Process Automation (RPA) – обработка масштабных задач, для которых ранее требовался труд большого количества специалистов высокой квалификации различного профиля, формализация и актуализация документооборота, оптимизация времени работы специалистов;

4) контроль качества (QA) – обеспечение постоянного уровня качества получаемой продукции, автоматизация мониторинга продукции на протяжении всего технологического процесса, повышение надежности, качества и минимизация затрат;

5) управление лабораторной информацией (LIMS) – управление лабораторными потоками

информации и технологическими работами, оптимизация сбора, анализа лабораторных и технологических данных, отчетности, применение вместе с MES-системами;

6) автоматизация прогнозирования (AP) – это процесс, нацеленный на предсказание потребности и потребления ресурсов, точное прогнозирование производственной программы эксплуатации основного технологического оборудования и производственных процессов. За счет этого снижаются эксплуатационные риски, повышается общая эффективность технологических цепочек, оптимизируется расход ресурсов на каждой операции и снижаются эксплуатационные затраты. ИЦПУ контролирует и обеспечивает оптимальное использование ресурсов;

7) цифровой двойник – это виртуальная среда, поэтому проводить в ней риск-прогноз безопасно и дешево по сравнению с реальными системами. Цифровой двойник способен симулировать любой промышленный объект (производственный агрегат) или технологический процесс (например, биологическую или физико-химическую очистку сточных вод), что позволит эффективно обслуживать сложные узлы, осуществлять операционный контроль, управлять эффективностью и повысить компетенции персонала при принятии решений, основываясь на единой ИЦПУ. Разработанная в рамках указанной платформы нашими специалистами технология построения цифровых двойников будет являться цифровым представлением физического продукта и технологического процесса производства со всеми его параметрами и аспектами и будет охватывать весь жизненный цикл своего физического аналога (предприятия).

Рассмотрим пошаговое создание ИЦПУ.

1. Создание подсистемы оперативного сбора и анализа производственной информации и знаний экспертов с ориентацией на используемые в компании SCADA и/или АСУТП:

- системный анализ производственных и вспомогательных процессов с целью проектирования единой ИЦПУ;

- создание и внедрение подсистемы оперативного сбора и анализа производственной информации и знаний, вспомогательных процессов при работе со смежными системами;

- согласование структуры и функционала системы единой ИЦПУ, разработка ее детального технического задания.

2. Базовый инжиниринг и создание цифрового двойника производства, в том числе поставка и монтаж дополнительных контрольно-

измерительных приборов (по результатам анализа пункта 1).

3. Пусконаладка ИЦПУ.

4. Запуск в штатный режим ИЦПУ.

5. Гарантийное и сервисное обслуживание цифровой ИЦПУ.

Планируемый срок разработки единой ИЦПУ варьируется от 6 до 24 месяцев в зависимости от сложности проекта и уровня цифровизации процессов в организации на данный момент.

Основными эффектами реализации ИЦПУ являются повышение качества производственной деятельности и минимизация удельных затрат на различных участках и стадиях производства организации ВКХ. В качестве сопутствующих эффектов можно выделить следующие:

- снижение рисков (минимизация человеческого фактора в принятии решений) инцидентов и аварийных ситуаций;

- оптимизация использования производственных мощностей;

- повышение конкурентоспособности организации;

- лидерство в отрасли;

- внедрение и использование перспективных рыночных трендов;

- улучшение экономического/финансового состояния организации.

Заключение. Анализ трендов развития ВКХ и цифровизации экономики в целом позволяет сделать вывод о перспективности цифровых решений. Однако ключевым вопросом цифрового реинжиниринга является обоснование экономических эффектов. Использование процессного представления с определением перечня КРІ по БП ВКХ и эффектов по ним даст возможность организациям определять «экономику» реализации БП и их реинжиниринга. При реализации мероприятий по реинжинирингу БП, по мнению авторов, следует ориентироваться как на эффекты, определяемые изменением КРІ, так и на инвестиционные эффекты. Первый подход (КРІЭ) позволяет оценивать эффекты по отклонениям от целевых индикаторов, второй (ИЭ) – используется при обновлении (приобретении, замене) оборудования (систем, приборов и т. п.) и реализуется на основе СЖЦ или расчета показателей окупаемости. Однако наиболее перспективным инструментом реинжиниринга БП авторами предлагается создание ИЦПУ на основе цифрового двойника БП. Многообещающим направлением видится реализация предложенных решений в организациях ВКХ.

Список литературы

1. ВАВОК: руководство к своду знаний по бизнес-анализу. Торонто; Онтарио: Междунар. ин-т бизнес-анализа, 2015. 531 с.
2. Цифровой водоканал – миф или реальность? / В. И. Баженов [и др.] // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2017. № 6. С. 38–48.

3. Баженов В. И., Гогина Е. С. Цифровое развитие – путь совершенствования, повышения эффективности и надежности работы водоканалов // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2019. № 3. С. 28–40.

4. «Цифра» в деле. Как технологии помогают бизнесу повысить эффективность в разных отраслях // Данные СберПро. URL: <https://sber.pro/digital/publication/cifra-v-dele-kak-tekhnologii-pomogayut-biznesu-povyisit-ehffektivnost-v-raznyh-otraslyah/> (дата обращения: 01.02.2025).

5. О задачах цифровизации систем водоотведения коммунально-промышленных объектов / И. В. Войтов [и др.] // Нефтегазохимия – 2023: материалы VI Междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 1–3 нояб. 2023 г. Минск, 2023. С. 147–151.

6. Abin T., Umakanta M. Effect of the wastewater treatment system and Industry 4.0 implementation for a sustainable tyre production industry // Alexandria Engineering Journal. 2025. Vol. 115. P. 94–110. DOI: 10.1016/j.aej.2024.11.105.

7. Towards global water security: The role of cleaner production / D. Opeyemi [et al.] // Cleaner Engineering and Technology. 2023. Vol. 17. P. 100695. DOI: 10.1016/j.clet.2023.100695.

8. Войтов И. В., Россоха Е. В., Штепа В. Н. Подход к планированию ESG-эффектов цифровизации водопроводно-канализационных хозяйств // Повышение качества жизни и обеспечение конкурентоспособности экономики на основе инновационных и научно-технических разработок: сб. ст. VII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 3–5 дек. 2024 г.: в 3 т. Минск, 2024. Т. 1. С. 52–55.

9. Россоха Е. В., Французова А. М. ESG-вектор в развитии жилой недвижимости Республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. 2024. № 1 (280). С. 128–133. DOI: 10.52065/2520-6877-2024-280-16.

10. Россоха Е. В. Оценка эффективности управления оборудованием на предприятии // Труды БГТУ. 2014. № 7: Экономика и управление. С. 175–177.

11. Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения: ГОСТ Р 58785–2019. М.: Стандартинформ, 2020. 19 с.

12. Оценка степени автоматизации и внедрения цифровых платформ управления системами водоотведения / И. В. Войтов [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2024. № 2 (284). С. 43–52. DOI: 10.52065/2520-6141-2024-284.

13. Conceptual Model of Digitization of the Municipal Wastewater Disposal Systems / V. Shtepa [et al.] // Water. 2024. Vol. 16, issue 23. P. 3483.

14. Предобработка данных и обоснование подходов использования нейросетевого прогнозирования значений pH сточных вод / В. Н. Штепа [и др.] // Интеллектуальные информационные системы: теория и практика. Курск: КГУ, 2023. С. 166–173.

15. Предиктивное управление процессом биологической очистки сточных вод на основе нейросетевого прогнозирования pH / В. Н. Штепа [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. 2024. № 1 (133). С. 149–155.

References

1. BABOK: *rukovodstvo k svodu znaniy po bisnes-analizu* [BABOK: guide to the business analysis knowledge pool]. Toronto, Ontario, Mezhdunarodnyy institut biznes-analiza Publ., 2015. 531 p. (In Russian).

2. Bazhenov V. I., Danilovich D. A., Samburskiy G. A., Bazhenov V. V. Digital water channel – myth or reality? *Nailuchshiye dostupnyye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya* [Best available technologies for water supply and wastewater disposal], 2017, no. 6, pp. 38–48 (In Russian).

3. Bazhenov V. I., Gogina E. S. Digital development – the way to improve, increase efficiency and reliability of water channels. *Nailuchshiye dostupnyye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya* [Best available technologies for water supply and wastewater disposal], 2019, no. 3, pp. 28–40 (In Russian).

4. “Numbers” in the case. How technologies help business to increase efficiency in different industries. Available at: <https://sber.pro/digital/publication/cifra-v-dele-kak-tekhnologii-pomogayut-biznesu-povyisit-ehffektivnost-v-raznyh-otraslyah/> (accessed 01.02.2025) (In Russian).

5. Voitau I. V., Smelov V. V., Dernovich A. V., Shtepa V. N. About the digitalization of water treatment systems of public and industrial facilities. *Neftegazokhimiya – 2023: materialy VI Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazopererabotke* [OILGAS CHEMISTRY – 2023: Materials of the VI International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil Processing]. Minsk, 2023, pp. 147–151 (In Russian).

6. Abin T., Umakanta M. Effect of the wastewater treatment system and Industry 4.0 implementation for a sustainable tyre production industry. *Alexandria Engineering Journal*, 2025, vol. 115, pp. 94–110. DOI: 10.1016/j.aej.2024.11.105.

7. Opeyemi D., Nnamdi N., Clinton A., Omoseni A. Towards global water security: The role of cleaner production. *Cleaner Engineering and Technology*, 2023, vol. 17, p. 100695. DOI: 10.1016/j.clet.2023.100695.

8. Voitau I. V., Rassokha Ya. V., Shtepa V. N. Approach to planning ESG-digitalization effects of water mains and sewer owners. *Povysheniye kachestva zhizni i obespecheniye konkurentosposobnosti ekonomiki na osnove innovatsionnykh i nauchno-tekhnicheskikh razrabotok: sbornik statey VII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Improving the quality of life and ensuring economic competitiveness through innovation and science and technology: Collection of articles VII of the International Scientific and Technical Conference]. Minsk, 2024, vol. 1, pp. 52–55 (In Russian).

9. Rassokha Ya. V., Frantsuzova A. M. ESG-direction of residential real estate development in the Republic of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 5, Economics and Management, 2024, no. 1 (280), pp. 128–133. DOI: 10.52065/12520-6877-2024-280-16 (In Russian).

10. Rassokha Ya. V. Evaluation of the efficiency of equipment management in the enterprise. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 7: Economics and Management, pp. 175–177 (In Russian).

11. GOST 58785–2019. Water quality. Life cycle cost assessment for efficient operation of water supply and sanitation systems and facilities. Moscow, Standartinform Publ., 2020. 19 p. (In Russian).

12. Voitau I. V., Shtepa V. N., Smelov V. V., Karpovich D. S. Assessment of the degree of automation and implementation of digital platforms for managing wastewater transportation systems. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 3, Physics and Mathematics. Informatics, 2024, no. 2 (284), pp. 43–52 (In Russian). DOI: 10.52065/2520-6141-2024-284-7.

13. Shtepa V., Junakova N., Zaiets N., Lutska N., Chernysh Y., Balintova M. Conceptual Model of Digitization of the Municipal Wastewater Disposal Systems. *Water*, 2024, vol. 16, issue 23, p. 3483.

14. Shtepa V. N., Kudinov V. A., Kuzmich R. K., Bobrikovitch A. W., Bobrikovitch Y. W. Preprocessing of data and justification of approaches to the use of net-loop prediction of wastewater pH. *Intellektual'nyye informatsionnyye sistemy: teoriya i praktika* [Intelligent information systems: theory and practice]. Kursk, KGU Publ., 2023. P. 166–173 (In Russian).

15. Shtepa V. N., Kudinov V. A., Prokopenya O. N., Muslimov E. N. Predictive management of biological wastewater treatment based on net-grid pH prediction. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Brest State Technical University], 2024, no. 1 (133), pp. 149–155 (In Russian).

Информация об авторах

Войтов Игорь Витальевич – доктор технических наук, профессор, ректор. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: rector@belstu.by

Росоха Евгений Вячеславович – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой организации производства и экономики недвижимости. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: y.rassokha@belstu.by

Муслимов Эдуард Ниязович – руководитель управления. ООО «ЛВО» (ул. Натуралистов, 3, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: muslimoveb@gmail.com

Штепа Владимир Николаевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: shtepa@belstu.by

Information about the authors

Voitau Ihar Vital'evich – DSc (Engineering), Professor, Rector. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rector@belstu.by

Rassokha Yauheni Vyacheslavovich – PhD (Economics), Associate Professor, Head of the Department of Production Organization and Real Estate Economics. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: y.rassokha@belstu.by

Muslimov Eduard Niyazovich – Head of the Management. LLC “LWO” (3 Naturalistov str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: muslimoveb@gmail.com

Shtepa Vladimir Nikolaevich – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Life Safety. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shtepa@belstu.by

Поступила 15.02.2025