

12. Rodríguez G. E. et al. Cross-site scripting (XSS) attacks and mitigation: A survey // Computer Networks. – 2020. – Т. 166. – С. 106960. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128619311247>
13. Yenduri R., Al-khassaweneh M. PHP: vulnerabilities and solutions // 2022 2nd International Mobile, Intelligent, and Ubiquitous Computing Conference (MIUCC). – IEEE, 2022. – С. 391-396. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9781790>
14. Cui Y., Cui J., Hu J. A survey on xss attack detection and prevention in web applications // Proceedings of the 2020 12th International Conference on Machine Learning and Computing. – 2020. – С. 443-449. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3383972.3384027>
15. Yin Z., Lee S. U. J. Security Analysis of Web Open-Source Projects Based on Java and PHP // Electronics. – 2023. – Т. 12. – №. 12. – С. 2618. <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/12/2618>
16. Alsaffar M. et al. Detection of Web Cross-Site Scripting (XSS) Attacks // Electronics. – 2022. – Т. 11. – №. 14. – С. 2212. <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/14/2212>
17. Markov N. A. CROSS-SITE SCRIPTING XSS AND PROTECTION METHODS // Innovations. Science. Education. - 2021. - No. 33. - P. 1592-1598. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46168827>
18. Eremin M. V. The Problem of XSS Vulnerabilities in Web Development // Trends in the development of science and education Founders: IP Ivanov Vladislav Vyacheslavovich. - P. 61-64. <https://doicode.ru/doifile/lj/87/trnio-07-2022-13.pdf>
19. Belyanova I. A., Poimanova E. D. Web application penetration testing // Information technologies in education. - 2021. - P. 44-47. <https://elibrary.ru/item.asp?id=45421521>
20. Shutko N. A. Theoretical concepts of web application protection from vulnerabilities // Bulletin of Science. - 2022. - Vol. 4. - No. 11 (56). - P. 253-269. <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-ponyatiya-zaschity-web-prilozheniy-ot-uyazvimostey>

УДК 628.4.02

К ВОПРОСУ ДЕТАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

***В. Н. Коваленко**, м. т. н., аспирант кафедры водоснабжения, водоотведения
и охраны водных ресурсов, Брестский государственный технический
университет, руководитель отдела разработки ООО «ПроГИС»,
Гомель, Беларусь, e-mail: kovalbyu@gmail.com*

***А. И. Трипутько**, директор ООО «ПроГИС», Минск, Беларусь,
e-mail: passmat.by@gmail.com*

***А. Д. Гуринович**, д. т. н., профессор, Белостокский технический университет,
Белосток, Польша, e-mail: gurinowitsch@tut.by*

Реферат

Статья посвящена определению оптимальной степени детализации цифровых двойников систем жизнеобеспечения (водоснабжения, канализации и теплоснабжения) для промышленных предприятий и организаций жилищно-коммунального хозяйства. В статье анализируются различные подходы к разработке электронных моделей: от максимально детализированных, включающих все элементы системы, до укрупнённых, фокусирующихся на магистральных сетях и обобщённых потребителях. С использованием методов анализа «затрат и выгод», «чувствительности» и «А/В-тестирования» авторы определяют «точку эффективности», при которой достигается баланс между затратами на разработку и поддержку электронной модели и её актуальностью, информативностью и экономической отдачей. На примере условного населённого пункта

Энск показано, как оптимизация уровня детализации цифрового двойника системы теплоснабжения может повысить эффективность управления системами, снизить эксплуатационные расходы и улучшить качество услуг.

Ключевые слова: электронная модель, цифровой двойник, цифровизация, системы жизнеобеспечения, анализ, рентабельность.

ON THE ISSUE OF THE DETAILING OF DIGITAL TWINS OF LIFE SUPPORT SYSTEMS

V. N. Kovalenko, A. I. Triputko, A. D. Gurinovich

Abstract

The article is devoted to determining the optimal level of detail in digital twins of life support systems (water supply, sewage, and heating) for industrial enterprises and housing and communal services companies. It analyzes various approaches to developing electronic models: from highly detailed ones that include all elements of the system to aggregated models focusing on main networks and generalized consumers. Using methods of cost-benefit analysis, sensitivity analysis, and A/B testing, the authors find the «point of efficiency», at which a balance is established between the costs of developing and maintaining the electronic model and its relevance, informativeness, and economic return. Using the example of the hypothetical town of Ensk, it is demonstrated how optimizing the level of detail in a digital twin of the heating system can lead to increased efficiency in system management, reduced operational costs, and improved quality of services.

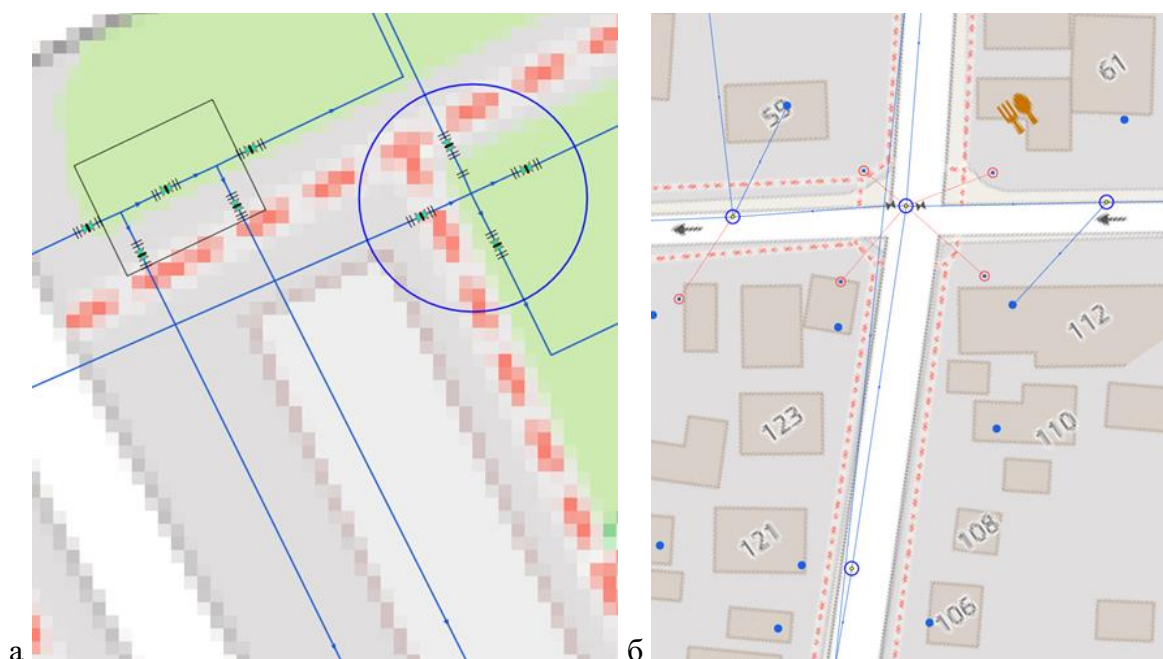
Keywords: electronic model, digital twin, digitalization, life-support systems, analysis, profitability.

Введение

В настоящее время по всему миру стремительно внедряются цифровые двойники инженерных систем водоснабжения, канализации и теплоснабжения (далее – систем жизнеобеспечения) в производственную деятельность предприятий жилищно-коммунального хозяйства. Внедрение цифровых двойников соответствует общему тренду цифровизации, которому следуют современные предприятия, стремящиеся повысить свою эффективность и оптимизировать процессы управления инженерной инфраструктурой. Цифровой двойник систем жизнеобеспечения представляет собой высокоточную электронную (компьютерную) модель физической системы, которая отражает её текущее технико-гидравлическое состояние, динамические процессы в режиме «online». Эта модель интегрирует данные с различных первичных преобразователей и информационных систем (АСУ, SCADA, 1С, SAP и т. д.), что позволяет проводить прогнозирование и анализ режимов работы, моделировать различные сценарии, оптимизировать её функционирование и повышать энергоэффективность [1–3].

Подходы к разработке цифровых двойников на практике сильно различаются. Некоторые предприятия (или подрядчики) стремятся к максимальной детализации моделей, воспроизводя практически все элементы системы с высокой точностью, включая фланцы, косые фильтры, манометры и другие компоненты,

аналогично схемам, выполненным в системах автоматизированного проектирования и черчения (см. рисунок 1А). Другие предпочитают создавать укрупнённые модели, обобщая потребителей и фокусируясь исключительно на магистральных сетях, что упрощает процесс разработки и снижает затраты (см. рисунок 1Б). Каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор подхода зависит от целей разработки, доступных ресурсов и требуемого уровня точности. Оба указанных варианта разработки моделей представляют собой крайности, что обуславливает необходимость поиска оптимального баланса – «точка эффективности». С одной стороны, чрезмерная детализация влечёт значительные затраты на разработку и поддержку модели в актуальном состоянии, с другой – чрезмерное упрощение ограничивает полезность модели и ее применение для более сложных задач.



а) максимальная; б) минимальная

Рисунок 1 – Уровень детализации графических элементов электронных моделей

Таким образом, в условиях стремительной повсеместной цифровизации возникает необходимость определения «точки эффективности» — той степени детализации модели, при которой ее разработка и последующая поддержка обеспечивают оптимальное соотношение между информативностью и экономической выгодой. Определение этой точки позволяет предприятиям принимать обоснованные решения по цифровизации, обосновывать необходимость внедрения цифровых решений и оценивать сроки их окупаемости, снижая издержки и повышая эффективность инвестиций.

1 Методология исследования

В целях исключения из оценки временных и экономических издержек предусматривается, что для разработки электронных моделей систем жизнеобеспечения привлекается подрядная организация, поскольку компании, выполняющие подобного направления работы, обладают многолетним опытом по их разработке и специализированной экспертизой, исключая вероятность возникновения ошибок на всех этапах создания модели. Привлечение

подрядчиков к разработке электронных моделей также способствует сокращению сроков выполнения работ и улучшению качества модели за счет применения лучших практик и технологий.

Для достижения цели исследования и определения оптимальной степени детализации электронных моделей систем жизнеобеспечения использованы следующие методы анализа:

- 1) «затрат и выгод»;
- 2) «чувствительности»;
- 3) «A|B-тест».

Анализ «затрат и выгод» предполагает оценку совокупных расходов на разработку, внедрение и поддержку электронных моделей, и их соотнесение с потенциальными производственными и экономическими выгодами. Данный подход позволил установить, насколько оправданы затраты на детализацию модели относительно ее пользы для предприятия.

Перед анализом «затрат и выгод» в обязательном порядке был осуществлен технический аудит, в результате которого установлены:

- объем имеющейся информации и документации;
- существующая проблематика систем;
- количество и квалификация кадров;
- применяемые информационные системы и технологии при производстве и в бизнес-процессах;
- ожидания и требования линейных и функциональных руководителей структурных подразделений предприятия.

На основе проведенного анализа разработана дорожная карта (программа внедрения мероприятий по цифровизации), которая станет базой для дальнейших этапов внедрения технических решений. Также сделан упор на решение установленных проблемных аспектов.

С учетом всех особенностей предприятия проведен анализ «чувствительности». Подрядчик совместно с предприятием определили перечень обязательных элементов электронных моделей, параметров, которые должны быть собраны в ходе натурного и инструментального обследований и могут быть собраны и внесены сотрудниками предприятия самостоятельно (см. рисунок 2). Данные параметры в обязательном порядке отражают техническое и технологическое состояния элементов систем, а также используются для проведения гидравлических и теплотехнических расчетов. Также сформирован перечень необязательных параметров, которые могут быть собраны в будущем, без участия подрядчика, при условии достаточного уровня квалификации сотрудников или приобретения необходимого оборудования.

Анализ «чувствительности» позволил вычислить коэффициент оборачиваемости данных и оценить, как изменения в уровне детализации модели влияют на ее актуальность, информативность и экономическую эффективность. Анализ «чувствительности» позволил выявить элементы и параметры, которые окажут наибольшее и наименьшее влияние на экономическую выгоду от ее использования, и определил пороговые характеристики, при которых разработка и поддержка модели остаются экономически выгодными.

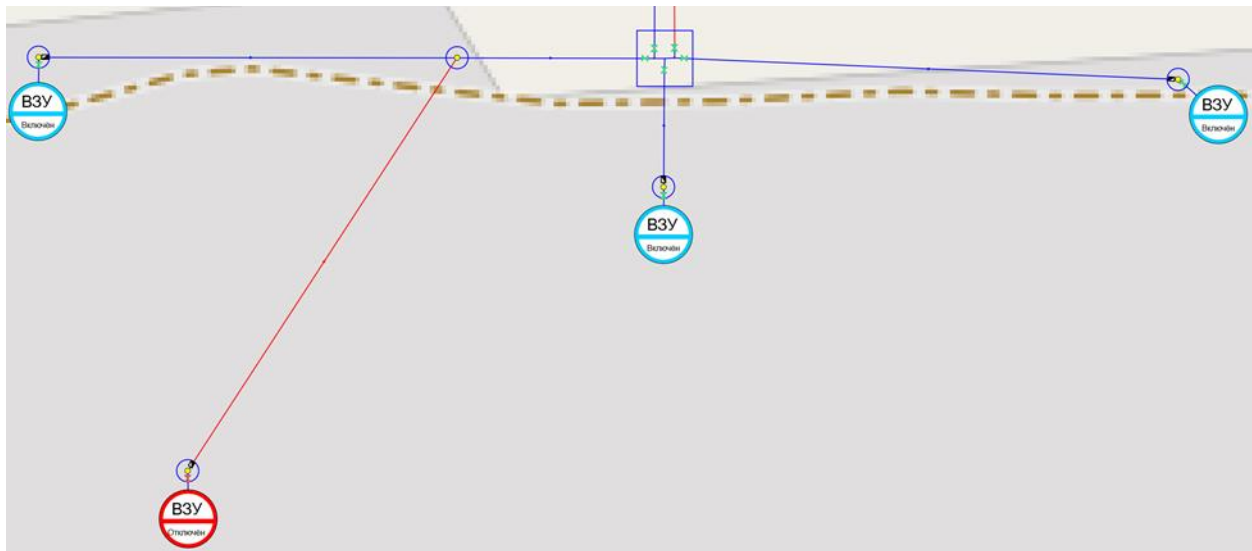


Рисунок 2 – Оптимальный уровень детализации графических схем электронных моделей

В процессе натурного и инструментального обследований подрядчик выполнял сбор данных в соответствии с заранее составленным перечнем, уточняя имеющуюся информацию и собирая новые данные о состоянии элементов обследуемых систем.

Через год после внедрения цифровых двойников проводился «А|В-тест» анализ, целью которого было определение параметров моделей, которые фактически собирались и актуализировались сотрудниками предприятия, а какие не были собраны либо их сбор был ограничен. Результаты этого анализа позволили оптимизировать перечень собираемых атрибутивных данных, сократив трудозатраты сотрудников и улучшив эффективность процесса сбора информации для актуализации электронных моделей.

Дополнительно, в рамках «А|В-тест» анализа, осуществлялось сравнение ресурсопотребления предприятиями (потерь воды, электрической энергии, расходов топлива, машино-часов и человеко-часов) на производство и оказание услуг до и после внедрения цифровых двойников за аналогичные периоды.

В перспективном периоде перечень собираемых и актуализируемых данных должен поддерживаться и дополняться по мере приобретения новых навыков и расширения приборного парка с целью накопления и развития цифровых двойников систем жизнеобеспечения.

2 Показательная оценка необходимого уровня детализации электронной модели цифрового двойника на примере системы теплоснабжения Энска

Для демонстрации методологии и определения оптимальной «точки эффективности» электронных моделей систем жизнеобеспечения был выполнен показательный расчет на условном объекте, основанном на данных реального предприятия в городе Энгс. Внедрение цифрового двойника осуществляется впервые.

В качестве исходных данных, с соблюдением норм конфиденциальности экономической информации, для исследования принят условный населенный пункт Энгс, базирующийся на данных о ранее внедренных и реализованных проектах на промышленных предприятиях и предприятиях ЖКХ.

По результатам обследования установлено, что имеющихся данных достаточно для разработки эскизной электронной модели (модели, формируемой на

основе имеющихся графических материалов и документации), проведения паспортизации и инвентаризации. Однако в обязательном порядке требуется проведение натурно-визуального и локального инструментального обследования для уточнения параметров и актуализации информации о состоянии систем. Средний возраст сотрудников предприятия составляет около 45 лет, и большинство из них уверенно владеют компьютером. Это обстоятельство позволяет рассчитывать на их способность эффективно работать с цифровым двойником и осваивать новые технологии. Однако, несмотря на высокий уровень компьютерной грамотности персонала, возникает необходимость отображать основные элементы системы без излишней детализации.

Такой подход обусловлен несколькими факторами. Во-первых, чрезмерная детализация модели может значительно увеличить затраты на ее разработку и последующую поддержку в актуальном состоянии. Во-вторых, для решения основных задач предприятия, таких как мониторинг состояния систем, планирование ремонтов и оптимизация эксплуатационных процессов, достаточным является отображение ключевых элементов без глубокой детализации.

С учетом наличия квалифицированного персонала, оптимальным решением является создание электронной модели среднего уровня детализации. При таком подходе, например, совместно проложенные подающие и обратные трубопроводы обозначаются одной линией, а при изменении их траектории они отображаются отдельно. Это позволяет упростить модель без потери ключевой информации о системе (см. рисунок 3).

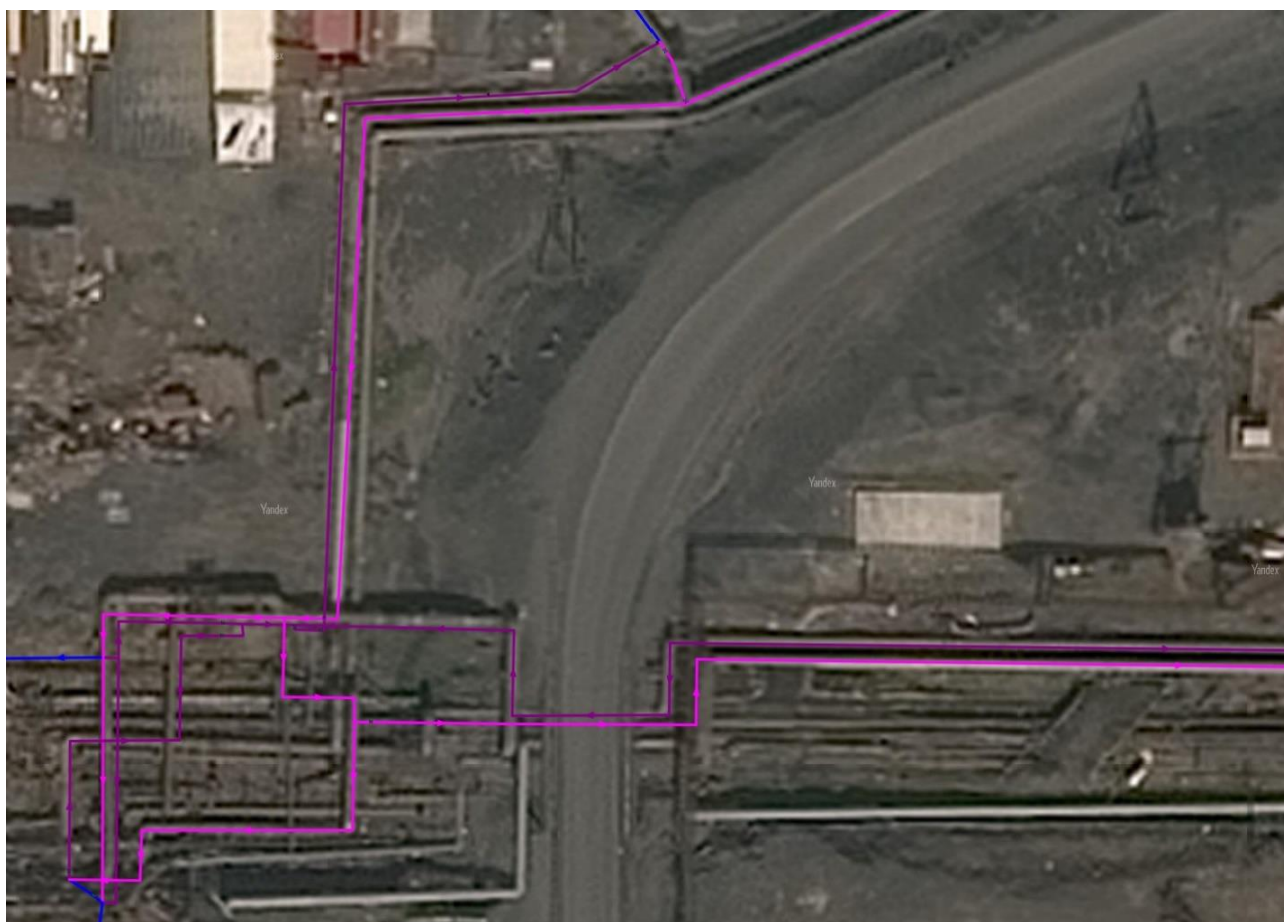


Рисунок 3 – Уровень детализации графической схемы системы теплоснабжения Энска

Такой уровень детализации обеспечивает баланс между информативностью модели и затратами на ее разработку и поддержку. Он делает модель более доступной для восприятия и анализа, сокращает время на ее обновление и снижает требования к объему данных, необходимых для актуализации. Кроме того, средний уровень детализации облегчает обучение персонала и интеграцию модели в повседневную работу предприятия. При этом сохраняется возможность проведения необходимых гидравлических и теплотехнических расчетов, моделирования различных режимов работы системы и оптимизации эксплуатационных процессов.

В таблице ниже представлены в укрупненном виде основные статьи расходов и доходов, связанные с разработкой и поддержкой электронной модели системы теплоснабжения в актуальном состоянии в течение трех лет с момента внедрения в производственный процесс.

Таблица – Основные статьи расходов и доходов по разработке и поддержке электронной модели системы теплоснабжения

№ п/п	Наименование статьи расходов / доходов	Мера измерения	Стоимость работ, у.е.
1. Камеральная разработка эскизной электронной модели			
1.1	Технический аудит	Предприятие	–400
1.2	Разработка графовой электронной модели по имеющейся документации	100 км тепловых сетей (двухтрубное исчисление)	–940
1.3	Паспортизация		–800
1.4	Инвентаризация 70% сетей (по данным бухгалтерии)		–2 200
1.5	Эскизная электронная модель системы водоснабжения		–1 130
1.6	Разработка дополнительного информационно-справочного слоя (комплект из 10-ти слоев)	Населенный пункт /предприятие	–500
1.7	Организация инфраструктуры под цифровой двойник (закупка программного обеспечения)	Предприятие	–110 000
<i>Всего расходов по первому этапу</i>			<i>–116 970</i>
2. Натурное обследование и разработка промежуточной электронной модели			
2.1	Натурное обследование элементов системы теплоснабжения	100 км тепловых сетей (двухтрубное исчисление)	–25 000
2.2	Инвентаризация 70% сетей (по месту нахождения объектов систем)		–3 600
2.3	Промежуточная электронная модель системы теплоснабжения		–35 000
2.4	Уточнение дополнительного информационно-справочного слоя (комплект из 3-х слоев)	Населенный пункт /предприятие	–450
2.5	Обучение по работе с программным обеспечением и обследованиям (визуальному и инструментальному)	Группа	–1 300
2.6	Разработка облачной платформы для отдела сбыта	Предприятие	–20 000
<i>Всего расходов по второму этапу</i>			<i>–85 350</i>
3. Инструментальное обследование и разработка рабочей электронной модели			
3.1	Инструментальное обследование элементов системы теплоснабжения	100 км тепловых сетей (двухтрубное исчисление)	–45 000
3.2	Первичная калибровка рабочей электронной модели системы теплоснабжения		–60 000
3.3	Подключение к иным информационным системам	Предприятие	–10 200
3.3	Дополнительные программные модули и иные услуги	Предприятие	–10 000
<i>Всего расходов по третьему этапу</i>			<i>–116 200</i>
<i>Итого по расходам на этапы разработки цифрового двойника системы теплоснабжения</i>			<i>–318 520</i>

№ п/п	Наименование статьи расходов / доходов	Мера измерения	Стоимость работ, у.е.
4. Группа информационно-графических систем и производственная деятельность			
4.1	Расходы на группу (3 человека): - заработная плата и налоги; - закупка оборудование; - прочие расходы	Группа	-270 000 -10 000 -8 000
4.2	Снижение потребления электрической энергии в системе водоснабжения	Насосные станции, ЦТП и ИТП	+61 293
4.3	Снижение расходов за счет: - снижения тепловых потерь - ликвидации незаконных подключений - проведения своевременного технического обслуживания и ремонта, в том числе минимизация естественной убыли	100 км тепловых сетей (двухтрубное исчисление)	+522 720
4.4	Организация учета по неплательщикам жилищно-коммунальных услуг	Система водоснабжения	+7 000
4.5	Уменьшение пробега транспортных средств и расхода топлива	Предприятие	+7 500
4.6	Оказание непрофильных услуг	Предприятие	+12 000
4.7	Прочее	Предприятие	+1 720
<i>Всего расходов за расчетный период</i>			-596 520
<i>Всего доходов за расчетный период</i>			+603 233
<i>Финансовый результат (прибыль/убыль) за период</i>			+6 713

Примечание – 1–3 этапы включают наиболее востребованные позиции при разработке и внедрении цифровых двойников систем теплоснабжения. Данные в таблице являются укрупненными.

Если бы модель была более детализирована, это привело бы к существенному увеличению трудоемкости работ по ее разработке и поддержке. Такой подход потребовал бы дополнительных ресурсов, как человеческих, так и финансовых, что отразилось бы на увеличении затрат по статьям расходов, представленным в таблице. Увеличение затрат могло бы сделать проект экономически нецелесообразным, так как сроки окупаемости значительно возросли бы, а потенциальная экономическая выгода от использования модели могла бы не компенсировать вложенные средства.

С другой стороны, при создании укрупненной модели возникает недостаток информации, необходимой для полноценного анализа и принятия управленческих решений. Отсутствие детализированных данных об отдельных элементах системы затрудняет проведение точных гидравлических и теплотехнических расчетов, моделирование различных сценариев работы системы и выявление потенциальных проблемных зон. В свою очередь, это может привести к упущенным возможностям по оптимизации работы системы теплоснабжения, снижению эксплуатационных расходов и повышению качества услуг, что отражается на недополучении потенциальных доходов, указанных в таблице. Однако укрупненная модель в перспективе может быть доработана до среднего и максимального уровней.

Таким образом, выбор среднего уровня детализации модели позволяет достичь оптимального соотношения между затратами на ее разработку и актуализацию, сложностью верификации и получаемой экономической выгодой.

Заключение

В исследовании рассмотрен процесс разработки и внедрения цифровых двойников систем жизнеобеспечения. Основное внимание уделено определению достаточного уровня детализации электронных моделей, который, с одной стороны,

обеспечивает баланс между затратами на ее разработку и поддержку в актуальном виде, с противоположной стороны – экономической выгодой от ее внедрения.

Проведенный анализ показал, что для достижения оптимальной экономической эффективности важно найти компромисс между детализированностью модели, компетенциями кадров предприятия, ресурсными возможностями и затратами на ее разработку и поддержку в актуальном состоянии. Слишком детализированные модели требуют значительных ресурсов на поддержание в актуальном виде и высокого уровня компетенций для сбора и обработки данных, в то время как недостаточная детализация ограничивает их функциональность и снижает эффективность использования. Определение достаточного уровня детализации позволяет создать цифровой двойник, который обеспечивает необходимые данные для принятия обоснованных управленческих решений, регистрации изменений в элементах систем (например, ремонтов, отборов проб и т. д.), моделирования различных режимов работы, оптимизирует эксплуатационные процессы и снижает затраты на содержание и поддержку систем.

Кроме того, анализ затрат и выгод и проведенный «А|В-тест» анализ показали, что цифровые двойники могут существенно улучшить управление системой водоснабжения. Использование цифровых моделей позволяет сократить потери воды, снизить эксплуатационные расходы и повысить общую надежность системы. Привлечение подрядных организаций и использование современных технологий для разработки цифровых двойников обеспечивают высокое качество модели, быстроту исполнения и ее соответствие реальным объектам.

В целом исследование показало, что грамотный подход и разумное применение цифровых двойников, на примере системы теплоснабжения, способно привести к значительным экономическим и эксплуатационным преимуществам. В дальнейшем важно продолжить совершенствование методологии разработки цифровых моделей систем жизнеобеспечения и углублять анализ экономической эффективности их применения, чтобы еще более эффективно использовать возможности цифровизации в промышленных предприятиях и предприятий ЖКХ.

Список цитированных источников

1. Коваленко, В. Н. Социальная и практическая значимость внедрения компьютерных моделей систем водоснабжения и канализации / Коваленко, В. Н // Водоснабжение, химия и прикладная экология : Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22 марта 2022 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-тет трансп. ; редкол.: Е. Ф. Кудина, А. Б. Невзорова, О. Н. Горелая. – Гомель : БелГУТ, 2022. – с. 83–85.

2. Баженов, В. И. Какие стандартные современные комплексы, моделирующие работу систем водоснабжения и водоотведения, применяются? / В. И. Баженов, Г. А. Самбурский // Наилучшие Доступные Технологии водоснабжения и водоотведения". – 2014. – № 1. – С. 44–50.

3. Серая, Е. С. Интеллектуальная городская среда. Интеграция ГИС и BIM. / Е. С. Серая, С. Г. Шеина, К. С. Петров, Р. Б. Матвейко // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1.

Reference

1. V. N. Kovalenko, Social'naja i prakticheskaja znachimost' vnedrenija komp'juternyh modelej sistem vodosnabzhenija i kanalizacii // Vodosnabzhenie, himija i priklad'naja jekologija: Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Gomel', 22 marta 2022 g.) / M-vo transp. I kommunikacij Resp. Belarus', Belarus. Gos. un-t transp.; redkol.: E.F. Kudina, A.B. Nevzorova, O.N. Gorelaja. – Gomel' : BelGUT, 2022. – s. 83–85.

2. Bazhenov V.I., Samburskij G.A. Kakie standartnye sovremennye komplekсы, modelirujushhie rabotu sistem vodosnabzhenija i vodootvedenija, primenjajutsja? // Zhurnal "Nailuchshie Dostupnye Tehnologii vodosnabzhenija i vodootvedenija". 2014, №1. s. 44-50.

3. Seraja E.S., Sheina S.G., Petrov K.S., Matvejko R.B. Intellektual'naja gorodskaja sreda. Integracija GIS i BIM. // Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_19_seraya_N.pdf_a8101b66f0.pdf