

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Емельянов С. Ю.

Научный руководитель – доцент Семенова Т. С.

Университет ИТМО

sergeyemelya03@gmail.com

Введение

Значимость работы обусловлена необходимостью внедрения модели экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ). В условиях дефицита сырья этот подход критически важен для достижения целей устойчивого развития. Текущая линейная экономика ведет к росту отходов и нерациональному потреблению. Научная проблема кроется в отсутствии механизмов для преодоления дефицита данных на этапе после продажи товара потребителю [1].

В России текущее положение характеризуется реализацией программы «Цифровая экономика», направленной на цифровую трансформацию промышленности [2]. Существенным шагом в развитии нормативной базы стало принятие в 2021 году ГОСТ Р 57700.37–2021. В соответствии с этим стандартом цифровой двойник трактуется как система, включающая цифровую модель объекта и механизм двустороннего обмена данными между моделью и изделием. В рамках отечественной практики цифровые двойники уже применяются в сфере городского управления, например, в Москве, а также в топливно-энергетическом комплексе, где такие компании, как ПАО «Газпромнефть», используют для оптимизации добычи [2, 3]. Однако внедрение сдерживается высокой стоимостью разработки и проблемами кибербезопасности [3].

Зарубежный опыт опирается на стандартизацию архитектуры цифровых двойников, выделяя элементы производства и формализуя протоколы обмена данными [4]. Разрабатываются концепции поддержки принятия решений на этапе окончания жизненного цикла изделий [5]. Специфика отечественного подхода заключается в акценте на «цифровой дуализм» – связь между материальным объектом и его виртуальной копией [2].

Основная часть

Суть предлагаемого решения заключается в создании и внедрении цифровых двойников как виртуальных аналогов реальных систем, позволяющих анализировать параметры, оптимизировать процессы и выявлять проблемы до их возникновения [3]. Концептуально цифровой двойник для ЭЗЦ должен представлять собой распределенную систему управления информацией, сопровождающую продукт на протяжении всего жизненного цикла: от проектирования до переработки [1].

Оптимальное решение проблемы предполагает интеграцию цифровых двойников в производственные процессы для обеспечения прозрачности и прослеживаемости материалов. Это достигается путем синхронизации наблюдаемых элементов производства с их цифровыми представлениями через сенсоры и устройства [4]. Такая синхронизация позволяет обнаруживать аномалии и реализовывать управление в реальном времени, автономную аналитику и профилактическое обслуживание [4]. В контексте ЭЗЦ цифровой двойник целесообразно описывать как сочетание «цифрового мастера» (плановые/эталонные данные) и «цифрового следа» (оперативные данные о состоянии и ремонтах), что позволяет сопоставлять плановые и фактические показатели и обосновывать решения по утилизации либо восстановлению изделия. [5].

Для моделирования безотходной экономики предлагается теория графов. Представление процессов переработки в виде альтернативных графов позволяет оптимизировать управление отходами по затратам, времени и техническому уровню. В качестве альтернативы можно использовать двухуровневую оптимизацию, ранее применённую в задачах логистики медицинских отходов. Такой подход разделяет решения по уровням управления и помогает снижать суммарные затраты и риск, включая неопределённость в модель через полиэдральные ограничения. Экономичность подхода обеспечивается за счет использования данных цифрового двойника для прогнозирования отказов оборудования и оптимизации энергопотребления [3, 4].

Выводы

Цифровые двойники позволяют трансформировать линейные цепочки поставок в замкнутые экосистемы, обеспечивая динамическое управление рисками, прослеживаемость компонентов и верификацию процессов [4]. Интеграция моделей способствует росту рентабельности предприятий: издержки на складирование снижаются до 28%, а время грузопереработки на 40%. [3]. Технология позволяет принимать решения о продлении срока службы изделий, повторном использовании компонентов или выборе методов переработки на основе данных о состоянии [5].

Для внедрения на российских предприятиях предлагаются следующие меры:

- интеграция виртуальных копий производственных комплексов с использованием платформ управления процессами, что даст возможность рационализировать перемещение материальных ресурсов внутри производства;
- тестирование технологических решений посредством симуляционных моделей с целью выявления наиболее результативных методов осуществления операций до начала фактического воплощения инициатив по утилизации вторсырья;
- проектирование и применение комплексов содействия принятию решений для стадии завершения жизненного цикла продукции. Опираясь на информацию от виртуальной копии, эти комплексы смогут в автоматическом режиме предлагать наилучшую стратегическую линию.

Литература

1. Preut A., Kopka J.-P., Clausen U. Digital Twins for the Circular Economy // Sustainability. 2021. Vol. 13, iss. 18. Art. 10467.
2. Паршина И. С., Фролов Е. Б. Разработка цифрового двойника производственной системы на базе современных цифровых технологий // Экономика в промышленности. 2020. Т. 13, № 1. С. 29–34.
3. Сафонова А. В., Сушко А. В., Осадчая А. В. Цифровые двойники и их применение в экономике // Journal of Monetary Economics and Management. 2025. № 1 (79). С. 271–274.
4. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles. 2021-10. Geneva. 12 p.
5. Mügge J., Seegrün A., Hoyer T.-K. Digital Twins within the Circular Economy: Literature Review and Concept Presentation // Sustainability. 2024. Vol. 16, iss. 7. Art. 2748.