УДК 338

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БИЗНЕС-МОДЕЛИ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

[1] Ю.В. Селявский, [2] А.В. Ренкас, [3] Е.Г. Дедов

[1] Смоленский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова, Смоленск, email: yurasel83@mail.ru

[2] ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет МЭИ», Смоленск, email: Alex-R-89@yandex.ru

[3] Независимый исследователь, Смоленск, email: EvgeniyD15@yande.ru

Аннотация. *В условиях цифровизации производства и моделей линейной экономики развитие производственных систем экономики замкнутого цикла выходит на новый качественный уровень. Возможности цифровых технологий позволяют экономить ресурсы и снизить издержки производства. В экономике замкнутого цикла существующие модели бизнеса благодаря цифровым технологиям позволяют получить информационную поддержку для принятия решения, в том числе и до момента запуска подобных моделей. Целью статьи является анализ существующих проблем внедрения цифровых технологий в бизнес-модели экономики замкнутого цикла. Достоверность и обоснованность полученных результатов исследования обеспечивается теоретическим анализом научной литературы, анализом зарубежного опыта, анализом документов и материалов интернет-СМИ. Проведенное исследование позволило систематизировать цифровые и смешанные технологии, а также модели циркулярного бизнеса, где взаимодействие цифровых технологий будет наиболее эффективным, позволит создать циркулярные ценности и преимущества. На основе мнений исследователей, установлено, что достижение цифровой зрелости является необходимым условием для успешной циркулярной бизнес-модели. Производительность цифровых технологий в циркулярных моделях бизнеса зависит от их совместимости. Подобные стратегии цифровизации экономики замкнутого цикла позволяют достичь разных уровней эффективности использования вторичных ресурсов.*

Ключевые слова*: циркулярная экономика, цифровые двойники, бизнес-модель, умное циклическое производство, циркулярные преимущества.*

PROBLEMS OF INTRODUCING DIGITAL TECHNOLOGIES INTO THE BUSINESS MODEL OF A CLOSED-LOOP ECONOMY

[1] Yu.V. Selyavskiy, [2] A.V. Renkas, [3] E.G. Dedov

[1] Smolensk branch of the Plekhanov Russian University of Economics, Smolensk, email: yurasel83@mail.ru

[2] National Research University MPEI, Smolensk, email: Alex-R-89@yandex.ru

[3] Independent researcher, Smolensk, email: EvgeniyD15@yande.ru

Abstract. *In the context of digitalization of production and linear economy models, the development of closed-loop economy production systems is reaching a new qualitative level. The possibilities of digital technologies allow us to save resources and reduce production costs. In a closed-loop economy, existing business models thanks to digital technologies allow you to receive information support for decision-making, including before the launch of such models. The purpose of the article is to analyze the existing problems of introducing digital technologies into the business model of a closed-loop economy. Materials and methods of research. The reliability and validity of the research results obtained is ensured by the theoretical analysis of scientific literature, the analysis of foreign experience, the analysis of documents and online media materials. Results. The conducted research allowed us to systematize digital and mixed technologies, as well as circular business models, where the interaction of digital technologies will be most effective, will create circular values and advantages. Discussion. Based on the opinions of researchers, it has been established that achieving digital maturity is a prerequisite for a successful circular business model. Conclusions. The performance of digital technologies in circular business models depends on their compatibility. Such digitalization strategies of the closed-loop economy make it possible to achieve different levels of efficiency in the use of secondary resources.*

Keywords: *circular economy, digital twins, business model, smart cyclic production, circular advantages.*

Дата поступления статьи в редакцию: 22.09.2025
Дата принятия статьи в печать: 31.10.2025

Введение

Использование в современных условиях ведения бизнеса цифровых технологий позволяет улучшить показатели конкурентоспособности предприятий вне зависимости от их размера. С 2020 г. в Российской Федерации растет научный и практический интерес к проблемам циркулярной экономики, бизнес-модели которых являются специфическими для организации бизнеса в различных отраслях. С учетом сказанного, модели циркулярного бизнеса должны комбинировать экологические аргументы с бизнес-логикой.

Установлено, что традиционные способы измерения экономики не в полной мере подходят для управления показателями циркулярной экономики. Анализ опыта развитых государств показывает, что в общей статистике вклад рециклинга в создание добавленной стоимости учету не подлежит. Исследователи констатируют, что в данном аспекте хорошо себя зарекомендовали цифровые технологии (цифровые двойники, облачные технологии, искусственный интеллект, интернет вещей, киберфизические системы и другие). При этом не все цифровые технологии совместимы между собой, также как и с моделями бизнеса в циркулярной экономике. Оценка возможностей применяемых циркулярных моделей бизнеса позволяет заключить, что их выбор определяется принадлежностью к конкретному сектору экономики и специфики отрасли, а также воздействием внешних макроэкономических факторов. Поэтому изучению подлежат возможности каждой из цифровых технологий в рамках сложившихся циркулярных моделей бизнеса. Тем не менее, становится заметно, что внедрение промышленной парадигмы Индустрия 4.0 во все этапы жизненного цикла производства товаров, и непосредственно в цикл вторичной переработки отходов, а также интеграция этой парадигмы с экологической парадигмой замкнутого цикла – вопрос времени. Результатом интеграции этих возможностей, как прогнозируют исследователи и практики, будет возрастающая энергоэффективность и функционирование «умных систем» в рамках стратегий управления отходами.

Цель исследования

Целью статьи является анализ существующих проблем внедрения цифровых технологий в бизнес-модели экономики замкнутого цикла.

Материалы и методы исследования

Достоверность и обоснованность полученных результатов исследования обеспечивается теоретическим анализом научной литературы, анализом зарубежного опыта, анализом документов и материалов интернет-СМИ.

Результаты исследования

На заявленную проблему внимание обращают представители бизнеса, политики, инвесторы, экологи, государственные управленцы и другие заинтересованные стороны. Потенциал цифровых технологий в циркулярной экономике изучен в недостаточной степени. Установлено, что окупаемость рециклинга прогнозируется лишь в долгосрочной перспективе, что снижает интерес целого ряда субъектов, строящих экономические планы на краткосрочную перспективу. Поэтому внедрение циркулярных моделей бизнеса сопряжено с немалыми рисками, в том числе и с восприятием проблем обществом. Отношение к продуктам вторичной переработки отходов неоднозначное. Рынок вторичного сырья не сформирован, спрос на продукцию из вторичного сырья отличается неустойчивостью [2]. Высокая волатильность цен на вторичное сырье значительно снижает прибыльность бизнес-моделей циркулярной экономики. Специфика рециклинга отходов производства и совершения экспортно-импортных операций с ними в разных географических условиях имеет существенные отличия. Однако, внедрение цифровых технологий в циркулярные модели бизнеса на практике приводит к тому, что маркетинговые и финансово-экономические параметры способны деформировать географические факторы и оказать влияние на экологическую и промышленную политику государств.

Также следует уточнить, какие именно цифровые технологии позволяют создать дополнительную ценность и циклические преимущества. Обобщение зарубежного опыта ведущих компаний в сфере циркулярной экономики показывает, что особо следует выделить 10 групп цифровых технологий, представленных цифровыми, инженерными технологиями, а также их гибридами, возможности которых позволяют масштабно и в короткие сроки запустить циклические модели бизнеса (табл. 1).

Благодаря приведённым в таблице 1 цифровым технологиям вторичные ресурсы передаются между жизненными циклами с низкими транзакционными издержками. Как показывает зарубежный опыт внедрения, цифровые технологии находят свое применение в ограниченных областях и бизнес-моде-

лях экономики замкнутого цикла для обмена данными в режиме live. Инженерные технологии позволяют производить товары из регенерированных ресурсов. Являясь отчасти цифровыми, гибридные технологии обеспечивают непрерывные поставки вторичных ресурсов, оптимизируют их использование. С помощью гибридных технологий контролируются материальные потоки и способы повторной переработки ресурсов.

Таблица 1

Опыт передовых компаний для быстрого и масштабного запуска и эксплуатации бизнес-моделей экономики замкнутого цикла

	Циркулярные поставки	Восстановление ресурсов	Продление срока службы изделия	Платформы для совместного использования	Продукт как услуга
Цифровые технологии (Ц)					
Мобильный интернет			Ц	Ц	Ц
Межмашинное взаимодействие				Ц	Ц
Облачные технологии				Ц	Ц
Социальные сети			Ц	Ц	Ц
Аналитика больших данных	Ц			Ц	Ц
Гибридные технологии (Г)					
Системы отслеживания и возврата данных		Г	Г	Г	
3D-печать	Г		Г		
Технологии инженерного искусства (И)					
Технология модульного проектирования		И	И		И
Передовая технология переработки отходов	И	И			
Науки о жизни и материалах	И	И			

Источник: составлено автором на основе [10].

Цифровые технологии позволяют быстро обработать большие объемы данных, проанализировать количество отходов производства, уточнить возможности для повторного использования. С помощью каналов онлайн-коммуникации у клиентов появляется возможность получить подробную информацию о продукции. В частности, с помощью «интернета вещей» в экономике замкнутого цикла можно собирать данные из различных источников. Искусственный интеллект позволяет рассчитывать для экономики замкнутого цикла более сложные алгоритмы. Технология анализа данных позволяет получить комплексные представления о данных по экономике замкнутого цикла, что дает возможность сформировать циркулярную цепочку поставок [4]. С помощью машинного обучения используемые данные используются для моделирования будущего, а значит позволяют принимать качественные обоснованные управленческие решения. Применение 3D-принтеров позволяет достичь на практике реальной экономии ресурсов, то есть реализовать принцип бережливого производства. Возможности цифровых платформ обеспечивают моделирование производственных цепочек производителя и потребителя, трансформировать материальные потоки, и тем самым оптимизировать затраты на логистику в промышленном секторе. Функциональная совместимость подобных технологий повышает операционную производительность [5].

По мнению Е.В. Шкарупеты и Е.А. Ильиной, перечисленные группы технологий можно интегрировать в произвольные архитектуры в зависимости от выполняемых функций [8]. Например, узлы интернета вещей в циркулярной инфраструктуре могут поддерживаться приложениями блокчейн, что позволяет хранить, накапливать и передавать информацию. Непосредственно возможности интернета вещей позволяют собирать данные о жизненном цикле продукции, для повышения эффективности ее переработки и утилизации, а также реверсивной логистики. Возможности блокчейна применяются для учета происхождения продукта.

Применение цифровых технологий позволяет масштабировать бизнес-модели циркулярной экономики. Их достоинством является низкая себестоимость при высокой доходности. Расчеты специалистов Евростата на основе математического моделирования позволили прийти к выводу о том, что на начальной стадии цифровизация помогает экономической системе перейти на принципы экономики

замкнутого цикла, но чрезмерная цифровизация тормозит ее. Выбор технологий зависит от потока отходов и отрасли, а также сопутствующих проблем, требующих решения. Чтобы этого избежать экономическая система должна достичь определённого уровня цифровой зрелости, что подтверждается фактом нелинейной зависимости между цифровизацией и циркулярностью, установленной с помощью математического аппарата [7]. На фоне этих выводов сдержанно воспринимается точка зрения О.В. Якимовой о том, что цифровизация производственных процессов выступает ключевым фактором организации экономики замкнутого цикла. Китайский ученый Ян Пенюй рассматривает цифровые технологии как катализатор для циркулярной экономики [10]. Исследователь А.Ю. Никитаева полагает, что цифровизация оказывает поддержку циркулярной экономике при создании добавленной стоимости [1]. Однако, стоит согласиться с авторами в том, что цифровизация позволяет оптимизировать потребление ресурсов, снизить цену производства [9]. Дополнительное значение цифровизации R-стратегий проявляется в синергии, но может и проявляться в «перекладывании бремени», когда принятое решение в одной сфере негативно влияет на другую сферу [6]. Сказанное наводит на мысль о том, что технологии Индустрия 4.0 позволяют сформировать для экономики замкнутого цикла синергетическую среду, обеспечивающую устойчивость производственных систем их симбиотическое кросс-отраслевое взаимодействие для совместного применения вторичных ресурсов. Другие исследователи полагают, что в разных комбинациях цифровые технологии обеспечивают метаболизм цифровых экосистем производства, придают системный эффект.

Похожие, но не имеющие под собой оснований, теоретические допущения делают норвежские и немецкие исследователи (E. Kristoffersen, F. Blomsma, P. Mikalef, J. Li), считая, что повышение уровня автоматизации производства позволит эффективно управлять вторичными ресурсами и повысить производительность циклической экономики [12]. Исследователи это положение связывают с умными технологиями, возможности которых позволяют организовать крупномасштабное производство для устойчивого потребления вторичных ресурсов. Основываясь на результатах многочисленных исследований, следует признать, производительность циклической экономики будет зависеть от мощностей производства и стабильности поставок отходов. Цифровые технологии помогают хорошо измерять эффективность экономики, и обосновывать ее стратегии (бизнес-модели). Тем не менее, следует признать, без предварительных расчетов такой теоретический подход не заинтересует инвестора. Исследователи обращают внимание на виртуальные цифровые технологии, которые поддерживают стратегии циркулярной экономики. Виртуальная реальность позволяет не зависеть от географического положения и времени, что имеет важное значение для циркулярной экономики, потому что технология позволяет производить продукты и детали, подлежащие ремонту. Практическими примерами виртуальной реальности являются виртуальные цепочки поставок и цифровые двойники, в рамках которых виртуальное представление о продукте вторичной переработки сочетается с аналитикой. Виртуальные цепочки поставок позволяют наладить промышленный симбиоз для совместного использования производственно-логистических объектов и вторичной переработки ресурсов [3].

Эти технологические возможности доказывают свою эффективность при принятии решений в условиях сложных производственных сценариев, а значит помогают лучше моделировать производство и тестировать в виртуальной среде стратегии замкнутого цикла до принятия решения в реальной производственно-экономической системе.

Выводы

Подведение итогов статьи позволяет сделать вывод о том, что влияние цифровых технологий на бизнес-модели экономики замкнутого цикла проявляется в различной степени. Их точка приложения очень дифференцируется, и зависит от отрасли, где применяются новые технологические решения, и от конкретной циркулярной бизнес-модели. Их вклад в развитие интеллектуальных систем правления вторичным производством оценивается как значительный, так как они позволяют создать дополнительную ценность и циклические преимущества.

Анализ зарубежного опыта позволил систематизировать и выделить группы цифровых, инженерных и гибридных технологий, вызволяющих оперативно и масштабно запустить модели экономики замкнутого цикла. Среди таких технологий следует выделить:

1) цифровые (мобильный интернет, облачные вычисления социальные сети, межмашинное взаимодействие, аналитику больших данных);

2) гибридные (трехмерная печать, отслеживание и возврат данных);

3) инженерные (модульное проектирование, переработка отходов, продление жизни материалов).

В совокупности они позволяют экономить ресурсы, снизить затраты. Однако, необходимо подчеркнуть, их функциональная совместимость сильно дифференцируется в зависимости от сферы применения. Если совместимость у них высокая, то их возможности позволяют спроектировать информационную систему управления, где каждый технологический компонент дает синергетический эффект.

Анализ мнений исследователей показывает, что эффективность внедрения цифровых технологий в циркулярную экономику зависит от цифровой зрелости организации. Нелинейная зависимость между цифровизацией и циркулярностью показывает, что чрезмерная цифровизация сдерживает развитие циклической экономики, и возникает «эффект перекладывания бремени», в результате которого нарушается устойчивость производственной системы-участника промышленного симбиоза. Цифровые технологии помогают хорошо измерять эффективность экономики, и обосновывать ее стратегии (бизнес-модели). Таким образом, благодаря цифровизации появляется возможность изучать стратегии замкнутого цикла перед их непосредственным использованием. Подобные стратегии позволяют достичь разных уровней эффективности использования вторичных ресурсов.

Литература

1. Аронов И.З., Бурый А.С., Рыбакова А.М. Умная экономика замкнутого цикла: основа цифровых стратегий производственных компаний. Часть 2. Циркулярные бизнес-модели // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 5 (69). С. 17-26.

2. В России формируется экономика замкнутого цикла // Ведомости. [Электронный ресурс]. URL: https://www.vedomosti.ru/esg/national_projects/articles/2025/05/22/1112071-v-rossii-formiruetsya-ekonomika-zamknutogo-tsikla (дата обращения: 12.10.2025).

3. Веретенникова Е.С. Цифровая платформа как инструмент интеграции и сотрудничества участников цепей поставок региона: сущность, задачи, перспективы использования // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. 2021. № 4 (32). С. 26-33.

4. Клименко А.Д. Препятствия внедрения технологий цифровой трансформации в замкнутый цикл производства // Экономика. Социология. Право. 2023. № 3. С. 26-31.

5. Лю Сыцзя. Интеллектуализация цепей поставок предприятий текстильной промышленности в условиях перехода к экономике замкнутого цикла: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Санкт-Петербург, 2023. 20 с.

6. Фонтана К.А., Ерзнкян Б.А. Экономика замкнутого цикла – циркулярные образы будущего // Экономическая наука современной России. 2023. № 3. С. 32-46.

7. Хонг Нхам, Нгуен Тхи и Ха, Ле Тхань (2022). Сделать экономику замкнутого цикла цифровой или сделать цифровую экономику замкнутой? // Эмпирические данные из европейского региона. Технологии в обществе. 2022. Т. 70. Вып. С. Номер S0160791X22001646.

8. Шкарупета Е.В., Ильина Е.А. Цифровая циркулярная экономика: концепция, модель, стратегии, фреймворк, технологии // Организатор производства. 2022. № 4. С. 9-17.

9. Якимова О. В. Цифровая трансформация предприятий в контексте перехода к циркулярной экономике // Управление устойчивым развитием. 2021. № 2 (33). С. 35-38.

10. Ян Пэнюй, Якимова В.А., Цифровизация промышленности как катализатор циркулярной экономики Китая // Валютное регулирование. Валютный контроль. 2022. № 12.

11. Circular Advantage Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth. High performance. Delivered // Accenture. [Электронный ресурс]. URL: https://sharingcitiesalliance.knowledgeowl.com/help/circular-advantage-innovative-business-models-and-technologies-to-create-value-in-a-world-without-limits-to-growth (дата обращения: 14.09.2025).

12. Kristoffersen E., Blomsma F., Mikalef P., Li J. The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies // Journal of Business Research. 2020. Vol. 120. P. 241-261. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.07.044.