

УДК 330

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ СКВОЗНЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Ирина Викторовна БЕЛИНСКАЯ<sup>1</sup>, к.э.н., доцент

Полина Сергеевна КУТЕПОВА<sup>2</sup>, аспирант

<sup>1,2</sup>Университет ИТМО, факультет технологического менеджмента и инноваций, Санкт-Петербург, Россия

Адрес для корреспонденции: Кутепова П.С., 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49, лит. А.

### Аннотация

**Цель исследования.** Всесторонне изучить возрастающее значение сквозных цифровых технологий в трансформации промышленных экосистем и оценить их потенциал для достижения Целей устойчивого развития (ЦУР), определенных ООН. В рамках работы проанализировано конкретное влияние данных технологий на ключевые показатели устойчивости, выявлены основные факторы, способствующие успешному внедрению инноваций, а также разработаны практические рекомендации для предприятий, направленные на преодоление существующих препятствий.

**Методология.** В работе применяются библиометрический и кейс-стади анализы. На основе базы данных Dimensions был сформирован массив из 248 000 научных работ, посвященных тематике исследования. Анализ проводился с использованием программного обеспечения VOSviewer, а также путем изучения высокоцитируемых публикаций и детального рассмотрения практических кейсов.

**Результаты исследования.** На основе систематизации данных была сформирована таблица, отражающая влияние сквозных цифровых технологий на показатели устойчивости промышленных экосистем. Выявлена взаимосвязь внедрения технологий с прогрессом в достижении 9 из 17 ЦУР.

**Выводы.** Данное исследование определяет ключевые барьеры, сдерживающие повсеместное распространение цифровых технологий в контексте ЦУР. В результате проведения исследования, авторами предложены практические рекомендации для предприятий, направленные на преодоление финансовых, технологических, трудовых и нормативных препятствий.

### Ключевые слова

сквозные цифровые технологии, промышленные экосистемы, цели устойчивого развития, факторы влияния

**Для цитирования:** Белинская И.В., Кутепова П.С. Исследование внедрения сквозных цифровых технологий в промышленные экосистемы // Ученые записки Международного банковского института. 2025. № 3(53). С. 9–26.

### *5.2.3. Regional and sectoral economics*

UDC 330

## **STUDY OF IMPLEMENTATION OF CROSS-CUTTING DIGITAL TECHNOLOGIES IN INDUSTRIAL ECOSYSTEMS**

**Irina Viktorovna BELINSKAYA<sup>1</sup>, Candidate of Economics, Associate Professor**

**Polina Sergeevna KUTEPOVA<sup>2</sup> postgraduate student**

<sup>1,2</sup>ITMO University, Faculty of Technological Management and Innovation,

Saint Petersburg, Russia

Address for correspondence: Kutepova P.S., 197101, Saint Petersburg, Kronverksky prospect, 49, lit. A.

### **Abstract**

**The purpose of the study** is to comprehensively examine the increasing importance of end-to-end digital technologies in the transformation of industrial ecosystems and assess their potential to achieve the Sustainable Development Goals (SDGs) defined by the United Nations. The work analyzes the specific impact of these technologies on key sustainability indicators, identifies the main factors contributing to the successful implementation of innovations, and develops practical recommendations for enterprises aimed at overcoming existing obstacles.

**Methodology** Bibliometric and case-study analyses are used in the work. Based on the Dimensions database, an array of 248,000 scientific papers devoted to the research topic was formed. The analysis was carried out using VOSviewer software, as well as by studying highly cited publications and reviewing practical cases in detail.

**Research results** Based on the systematization of data, a table was formed reflecting the impact of end-to-end digital technologies on the sustainability of industrial ecosystems. The relationship between technology adoption and progress in achieving 9 of the 17 SDGs has been revealed.

**Conclusions** This study identifies key barriers hindering the widespread adoption of digital technologies in the context of the SDGs. As a result of the research, the authors have proposed practical recommendations for enterprises aimed at overcoming financial, technological, labor and regulatory obstacles.

### **Keywords**

cross-cutting digital technologies, industrial ecosystems, sustainable development goals, influencing factors

**For citation:** Belinskaya I.V., Kutepova P.S. Study of implementation of cross-cutting digital technologies in industrial ecosystems // Proceedings of the International Banking Institute. 2025. 3 (53). pp. 9-26 (in Russ.).

## **Введение**

В настоящее время промышленное предприятие как сложная технико-экономическая система, направленная на выпуск продукции производственного характера, имеет целью повысить эффективность своей работы для максимизации прибыли и минимизации издержек [1]. Операционная эффективность, разработка новых продуктов и устойчивость – одни из главных стратегических задач промышленных предприятий [2]. Одновременно они претерпевают глубокие преобразования, которые обусловлены интеграцией цифровых технологий [3]. Стоит говорить о «четвертой промышленной революции», которая характеризуется ростом данных, растущей потребностью в аналитических и бизнес-аналитических исследованиях и развитием взаимодействия человека и машины [4]. Среди метрик цифровизации промышленного предприятия исследователи отмечают снижение простоя оборудования, затрат на производство и улучшение качества продукции, что относится к операционной эффективности, а также достижение сокращения образования отходов, потребления ресурсов, что относится к устойчивости промышленного предприятия.

Цифровые технологии делятся на базовую инфраструктуру (традиционные); технологии, управляемые данными; ориентированные на пользователя; прорывные, а также сквозные [5]. Именно сквозные цифровые технологии – новые перспективные решения, обеспечивающие улучшенный процесс производства и эффективность распределения имеющихся ресурсов – меняют производственные системы, делая акцент на экологической стороне вопроса [6]. Среди таких технологий отметим «умные датчики», цифровые платформы, аддитивные технологии, блокчейн и другие. Так, например, в ближайшие несколько десятилетий в России ожидается более активное использование технологий «цифрового двойника» и рост в металлургии и горнодобывающей промышленности [7]. Здесь стоит говорить о концепции «промышленной экологии» [8]. Это особая структура управления окружающей средой, стремящаяся к трансформации промышленной системы (ПС). Основная ее цель — перейти от линейной к замкнутой системе в различных сферах

производства и потребления [8]. Именно благодаря такому подходу можно будет говорить о достижении стратегических целей промышленного предприятия, в том числе о достижении устойчивости. Причина заключается в том, что ПС фокусируется на объединении инноваций в систему для взаимодействия промышленного комплекса с биосферой. Метрики для оценки устойчивости промышленного предприятия делятся на категории: социальную, экономическую и экологическую устойчивости [9]. Это напрямую коррелирует с понятием «устойчивого развития», определенного ООН как комплекс мер, предполагающий ответственное отношение к окружающей среде, экономическое развитие и социальный прогресс, когда удовлетворение потребностей настоящего поколения не ставит под угрозу жизнь будущих [10]. Многие предприятия берут за основу конкретные показатели устойчивости. Например, среди показателей экономической устойчивости отметим темп роста выручки, активов, производительности труда, а также финансовую устойчивость и ликвидность [9]. Среди социальных – темп роста уровня профессионального образования, квалификацию персонала, вовлеченность сотрудников, инвестиции в социальную сферу, программы обучения и развития, обеспечение безопасных условий труда. Среди экологических – темп роста инвестиций в экологию, штрафов за загрязнение окружающей среды, валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, а также сокращение потребления ресурсов, уменьшение образования отходов. Несмотря на представленный расширенный перечень, использование этих показателей по отдельности не отражает взаимосвязь между экономическими, социальными и экологическими факторами. Поэтому возникает необходимость использования Целей устойчивого развития (далее — ЦУР) как метрик устойчивости промышленных предприятий. 17 ЦУР были разработаны Генеральной ассамблеей ООН в 2015 году с целью достижения «лучшего и более устойчивого будущего для всех»<sup>1</sup>.

Преимущества использования данного подхода заключается в его комплексности, глобальной применимости и измеримости. Более того, устойчивость может быть интегрирована в бизнес-стратегию предприятий различных отраслей, таких как сельское хозяйство, энергетика, финансы и, несомненно, промышленность [9]. Именно промышленные предприятия

---

<sup>1</sup>Официальный сайт ООН. URL: <https://sdgs.un.org/goals> (дата обращения: 28.03.2025).

являются не только крупными потребителями природных ресурсов, но и источниками различного типа загрязнения, ведь оставляют серьезный экологический след, что требует особого внимания [10]. Важно выявить механизмы цифровой трансформации промышленных предприятий в целях обеспечения устойчивого развития. Гипотеза исследования заключается в существенном, но неоднозначном влиянии сквозных цифровых технологий на достижение устойчивости промышленных предприятий, поскольку требуется реализация целенаправленной политики со стороны государственных органов и бизнеса. Благодаря обзору существующей литературы и проведению углубленного анализа тематических работ это исследование может устранить пробел в знаниях в понимании сложной взаимосвязи между цифровой трансформацией промышленных экосистем и возможностью достижения ими целей устойчивого развития. Результаты исследования могут предоставить ценную информацию для бизнеса, стремящегося содействовать устойчивому развитию в промышленных экосистемах.

### **Материалы и методы**

Для проверки гипотезы был использован библиометрический и кейс-стади анализы. Анализ библиографии и ключевых слов проводился с помощью VOSviewer — программы, которая создает и визуализирует библиометрические сети<sup>2</sup>. Этот программный пакет облегчает создание сетевых карт, визуализацию данных и анализ цитирования. Для анализа было отобрано в общей сложности 248 000 статей по теме исследования, написанных в период с 2016 по 2025 годы. Были изучены ключевые слова, используемые в текстах статей и их аннотациях. Для составления списка статей использовалась база данных статей Dimensions<sup>3</sup>, признанная одной из крупнейших в мире коллекцией исследовательских работ. Кроме того, анализ наиболее цитируемых научных работ по теме исследования в программном пакете VOSviewer использовался для выявления статей для будущего кейс-стади анализа с целью определения взаимосвязи между сквозными цифровыми технологиями и достижением целей устойчивого развития. Существующий набор данных из 248 000 статей был загружен в

---

<sup>2</sup>Официальный сайт программного комплекса «VOSviewer». URL: <https://www.vosviewer.com> (дата обращения: 28.03.2025).

<sup>3</sup>Официальный сайт базы данных статей «Dimensions». URL: <https://www.dimensions.ai> (дата обращения: 28.03.2025).

VOSviewer для анализа цитирования авторов. Было установлено минимальное ограничение в 20 авторов.

## Результаты и обсуждение

Результаты анализа ключевых слов представлены на рисунке 1.

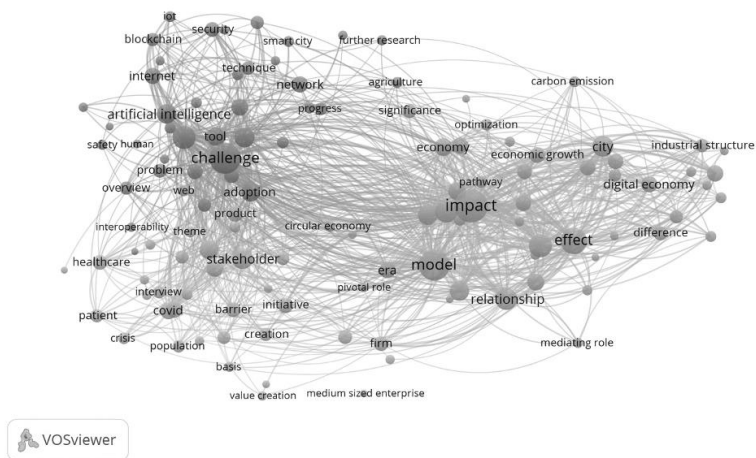
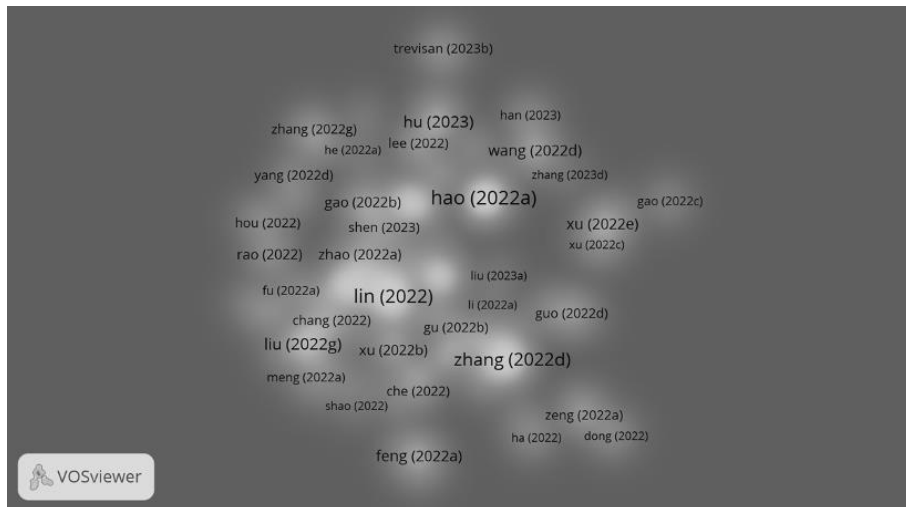


Рисунок 1 – Анализ ключевых слов в VOSviewer

Источник: составлено авторами в VOSviewer.

Результаты анализа указывают на три основных кластера, а именно на цифровую экономику, циркулярную экономику и технологии. Первая концепция включает в себя экономическую деятельность, направленную на использование технологий с целью оптимизации производственных процессов и повышения эффективности деятельности компаний. Циркулярная экономика фокусируется на сохранении природных ресурсов, минимизации отходов производства и представляет собой альтернативу традиционной линейной экономики. Данная концепция призвана налаживать устойчивость, продлевая срок службы оборудования и увеличивая его КПД. Кластер «технологии» включает в себя концепцию «умных городов», использование искусственного интеллекта в производственных процессах, сети, безопасность данных, блокчейн технологии, интернет вещей, а также преимущества технологического прогресса в целом. Важно, что внутри каждого кластера появляются слова, которые пересекаются с концепциями соседнего кластера, тем самым доказывая их взаимозависимость.

Анализ высокоцитируемых авторов и их статей по теме исследования выявил важные фундаментальные работы научной литературы, которые требуют детального анализа для поиска связи между сквозными цифровыми технологиями и достижением целей устойчивого развития. Результаты анализа библиографии представлены на рисунке 2.



*Рисунок 2 – Визуализация научных связей с помощью VOSviewer*

*Источник: составлено автором в VOSviewer*

Для изучения связи между сквозными цифровыми технологиями и достижением целей устойчивого развития был проведен кейс-стади анализ на основе обзора наиболее цитируемых научных литературных работ. Эти статьи были отобраны на основе результатов предыдущего библиометрического анализа в VOSviewer (рисунок 2). На основе результатов анализа кейсов была создана таблица 1.

Таблица 1 – Сквозные цифровые технологии и достижение целей устойчивого развития

Цель устойчивого развития	Сквозные цифровые технологии
№2. Ликвидация голода (в том числе содействие устойчивому развитию сельского хозяйства)	<p>Вертикальное земледелие, применяемое фирмами «Plenty»<sup>4</sup>, «AeroFarms»<sup>5</sup> помогает повысить урожайность, снизить потребление воды, приводит к всесезонной урожайности.</p> <p>Интернет вещей и сенсоры, используемые фирмами «Arable»<sup>6</sup> и «CropX»<sup>7</sup>, демонстрируют повышенные показатели устойчивости почв за счет эффективного управления урожаем.</p> <p>Использование ИИ и ориентация на «умное земледелие» способно сокращать отходы благодаря корректировки цепочки поставок продовольствия [11].</p>
№6. Чистая вода и санитария	<p>Инновации способствуют улучшению показателей качества воды: новые методы очистки загрязненных сточных вод минимизируют экологический след промышленной деятельности предприятий.</p> <p>Разработанная ПАО «Газпром нефть»<sup>8</sup> инновация «Биосфера» снижает выбросы в водные объекты и повышает эффективность работы установки [12].</p>
№8. Достойный труд и экономический рост	<p>Компании используют GE Digital's Asset Performance Management как инструмент для управления производительностью активов, а машинное обучение оптимизирует работу предприятия, повышая производительность труда. Это приводит к снижению затрат на рабочую силу [13].</p> <p>Технология Digital Twins сокращает время разработки новых продуктов за счет виртуального моделирования, снижает риски аварий оборудования, производственных линий или предприятий [14].</p>
№7. Доступная и чистая энергия	<p>Energy Management Systems - технология, которая помогает анализировать и оптимизировать энергопотребления онлайн [15]. Компания Siemens использует Siprocess Energy Manager, что сокращает затраты на энергию до 20% ежегодно<sup>9</sup>.</p>

<sup>4</sup>Официальный сайт компании «Plenty». URL: <https://www.plenty.ag> (дата обращения: 28.03.2025).

<sup>5</sup>Официальный сайт компании «AeroFarms». URL: <https://www.aerofarms.com>(дата обращения: 28.03.2025).

<sup>6</sup>Официальный сайт компании «Arable». URL: <https://www.arable.com> (дата обращения: 28.03.2025).

<sup>7</sup>Официальный сайт компании «CropX». URL: <https://agtecher.com/ru/product-ru/cropx-farm/>(дата обращения: 28.03.2025).

<sup>8</sup>Официальный сайт компании ПАО «Газпром нефть». URL: <https://bitum.gazprom-neft.ru/business/cases/biosphere/>(дата обращения: 29.03.2025).

<sup>9</sup>Официальный сайт компании «Siemens». URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/energymanagement/simatic-energy-manager-pro.html> (дата обращения: 28.03.2025)

	<p>ПоТ позволяет отслеживать состояние оборудования, выявлять неисправности и предотвращать аварии, сокращать потребление энергии (Компания Bosch сократила потребление энергии на 15% благодаря использованию ПоТ<sup>10</sup>).</p>
<p>№9. Промышленность, Инновации, Инфраструктура</p>	<p>Цифровизация бизнес-процессов приводит к созданию устойчивых цепочек поставок. Это повышает финансовую эффективность компаний [16].</p> <p>Predix использует ПоТ для сбора и анализа данных с помощью промышленного оборудования и активов<sup>11</sup>.</p> <p>EcoStruxure использует преимущества ПоТ для управления энергопотреблением и автоматизацией промышленных процессов<sup>12</sup>. Cisco IoT Platform помогает управлять устройствами ПоТ в промышленной среде, в том числе для реализации концепции «умного города»<sup>13</sup>.</p>
<p>№12. Ответственное Потребление и Производство</p>	<p>Цифровизация бизнес-процессов приводит к созданию устойчивых цепочек поставок. Это повышает финансовую эффективность компаний [17].</p> <p>Компания Unilever использует блокчейн для мониторинга происхождения сырья, отслеживания цепочки поставок пальмового масла, а также машинное обучение для снижения отходов от производства<sup>14</sup>.</p> <p>Компания Interface<sup>15</sup> контролирует потребление ресурсов благодаря умным датчикам, солнечным панелям [18].</p>
<p>№13. Борьба с изменением климата</p>	<p>Датчики и устройства IoT используются для мониторинга и сбора данных о климатических условиях, потреблении воды, воздуха и энергии [19]. Это позволяет максимально эффективно использовать имеющиеся ресурсы. Сокращение выбросов углекислого газа от производства и потребления возможно с помощью анализа больших данных и использования ИИ [20].</p>

<sup>10</sup>Официальный сайт компании «Bosch». URL: <https://www.bosch.com/sustainability/environment/> (дата обращения: 28.03.2025).

<sup>11</sup>Официальный сайт компании «Predix». URL: <https://www.vix.com.pl/en/ge-digital-products/predix-iiot-platform/> (дата обращения: 28.03.2025).

<sup>12</sup>Официальный сайт компании «EcoStruxure». URL: <https://www.se.com/ww/en/work/campaign/innovation/overview.jsp> (дата обращения: 28.03.2025).

<sup>13</sup>Официальный сайт компании «Cisco IoT Platform». URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/iot-control-center.html> (дата обращения: 28.03.2025).

<sup>14</sup>Официальный сайт компании «Unilever». URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/iot-control-center.html> <https://www.unilever.ru> (дата обращения: 28.03.2025).

<sup>15</sup>Официальный сайт компании «Interface». URL: <https://ya.ru/search/?text=Interface+компания+techonolies&lr=2> (дата обращения: 28.03.2025).

<p>№15. Рациональное использование экосистем суши</p>	<p>Спутниковый мониторинг играет важную роль в сохранении и устойчивом использовании наземных экосистем и предотвращении утраты биоразнообразия [21]. Защита ресурсов возможна посредством использования земельных ресурсов, контролируемой вырубки лесов и мониторинга почв.</p> <p>Компания Anglo American постоянно собирает данные в реальном времени о растительности, животных и водных ресурсах для контроля эффектов от промышленной деятельности<sup>16</sup>.</p> <p>Компания Holcim использует дроны и системы машинного зрения для мониторинга состояния карьеров<sup>17</sup>.</p>
<p>№17. Партнерство в достижении устойчивого развития</p>	<p>Благодаря технологическим инновациям повышается уровень вовлеченности граждан в социально-экономические и политические вопросы. Более того, на данный момент активно развивается система укрепления потенциала инноваций в области науки и технологий для мирового партнерства [22].</p>

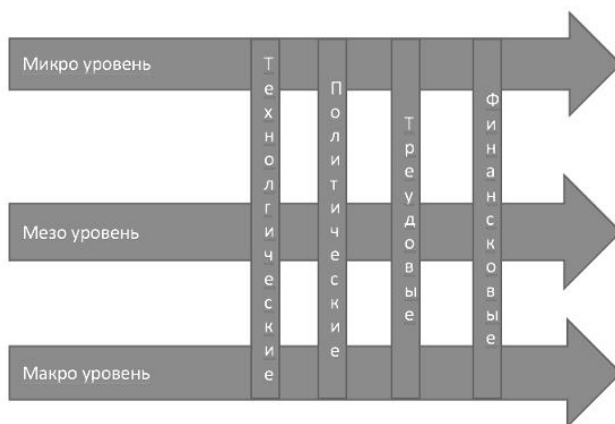
*Источник: составлено авторами.*

Анализ научной литературы обнаружил корреляцию между 9 из 17 целей устойчивого развития и сквозные цифровыми технологиями, применяемыми в сфере промышленных экосистем. Отметим, что новые технологии способны улучшить принятие решений, производственные процессы и укрепить управленческие компетенции, что приводит к снижению затрат и повышению качества продукции [23]. Организации могут разрабатывать новые продукты и услуги более эффективно, предлагая масштабируемые цифровые сервисные решения, которые укрепляют устойчивость бизнеса и возможность расширения рынка [24]. Кроме того, развитие устойчивости региональной инновационной экосистемы, особенно в менее развитых регионах, способствует региональному экономическому росту и технологическому прогрессу [24].

Однако влияние этих технологий может быть неоднозначным, что требует целенаправленной политики со стороны правительств для полной реализации их преимуществ [11]. Более того, авторы отмечают барьеры, с которыми сталкиваются фирмы при внедрении и использовании инновационных технологий, среди которых финансовые, трудовые, нормативные и технические (рисунок 3) [25].

<sup>16</sup>Официальный сайт компании «Anglo American». URL: <https://www.angloamerican.com> (дата обращения: 28.03.2025).

<sup>17</sup>Официальный сайт компании «Holcim». URL: <https://www.holcim.com> (дата обращения: 28.03.2025).



*Рисунок 3 – Барьеры внедрения сквозных цифровых технологий*

*Источник: составлено авторами по: Крутиков В. К., Косихина О. П., Мигел А. А. Российские особенности внедрения цифровых технологий в условиях санкций // Экономика и предпринимательство. 2018. №. 5 (94). С. 66.*

Для преодоления данных барьеров правительствам многих стран следует, во-первых, разработать и утвердить стандарты и технические регламенты для цифровых технологий [26]. Это позволит обеспечить качество, надежность и безопасность цифровых решений. Во-вторых, возможное упрощение процедуры получения разрешений и согласований для проектов поможет ускорить реализацию инновационных проектов как инициатив, исходящих от предприятий коммерческого сектора [27]. Более того, внедрение эффективной системы мониторинга и оценки результативности нормативно-правовых актов, которые бы стимулировали повсеместное использование сквозных цифровых технологий в сфере устойчивого развития, является необходимым [28]. Финансовая поддержка, а также меры, направленные на повышение квалификации кадров, смогут поспособствовать преодолению трудовых и финансовых барьеров [24].

### **Выводы**

Результаты проведенного исследования указывают на то, что сквозные цифровые технологии способны повысить производительность и эффективность

промышленности. Использование искусственного интеллекта и машинного обучения способно снизить простой оборудования на 10–20%, сократив затраты на ремонт техники, которая используется на предприятии [10]. Несомненно, такие новшества влияют и на экологическую сторону вопроса, сокращая потребление водных ресурсов, снижая количество загрязненных сточных вод, уменьшая выбросы вредных веществ в воздушный бассейн [12]. Интернет вещей и аналитика данных помогает сокращать потребление энергии и делает процесс промышленной деятельности энергоэффективным. Это может говорить о влиянии цифровых технологий на достижение экологической, а также социально-экономической устойчивости. Промышленные экосистемы, фокусируясь на использовании сквозных цифровых технологий, способны достичь устойчивости промышленной деятельности предприятий сельского хозяйства (используя «вертикальное» и «умное» земледелие), повышенных показателей водного бассейна (благодаря передовой системе очистных сооружений), рационального пользования энергией при производстве товаров (используя систему Energy management systems), устойчивой системы поставок, ускоряя темпы экономического роста без увеличения экологического следа (используя GE Digital Asset Performance Management). Результаты раскрывают стратегическую роль промышленных предприятий, функционирующих на базе инновационного развития и с повсеместным применением сквозных технологий, как агентов устойчивого развития. Это указывает на роль, которую сквозные цифровые технологии могут играть между бизнесом и ЦУР.

Гипотеза данного исследования была подтверждена: сквозные цифровые технологии оказывают положительное влияние на устойчивость предприятий промышленного сектора, однако из-за наличия финансовых, трудовых, нормативных и технологических барьеров предприятиям трудно получить все преимущества, которые могут дать применяемые инновации [24]. Так, недостаток финансирования накладывает ограничения на повсеместное использование сквозных цифровых технологий на местах. Согласно данным Росстата, только 22,7% от общего числа компаний использовали технологические инновации в 2023 году<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики «Росстат». URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 29.03.2025)

Для преодоления существующих барьеров исполнительным органам государственной власти стоит обратить внимание на разработку и реализацию программ поддержки внедрения инноваций. Стоит обратить внимание на гибкую систему грантов, которая бы стимулировала компании внедрять цифровые технологии. Сами же компании промышленного сектора должны разрабатывать бизнес-проекты с четким анализом всех финансовых затрат и преимуществ, которые дает использование новых технологий. Само внедрение инноваций должно быть поэтапным и включать наличие пилотных проектов, что может повлиять на быстрый возврат инвестиций. Стоит разработать стратегию цифровой трансформации, в которой были бы четко определены цели, задачи, методы и этапы приоритетов описываемой деятельности с учетом специфики бизнеса. Необходимо особенно проработать методы привлечения талантливых специалистов в область цифровизации. Для этого условия работы должны быть привлекательны, а техническая база должна соответствовать международным стандартам. Особенно отметим необходимость введения государственных курсов переподготовки и повышения квалификации для ИТ-специалистов. Данные методы могут стимулировать компании промышленного сектора активно внедрять сквозные цифровые инновации, преодолевая существующие барьеры.

#### Список источников

1. **Ukubassova, G.S., Zhakupova, A.M., Karabalayeva, G.K., Izekeeva, Z.K., & Kozhakhmetova, G.E.** The development of small and medium-sized enterprises in the modernization of industrial production in the case of the power complex enterprise // *Industrial Engineering & Management Systems*. 2020. Vol. 19, № 1. P. 103-119.
2. **Gajanayake A., Iyer-Raniga U.** If there is waste, there is a system: Understanding Victoria's circular economy transition from a systems thinking perspective // *Ecological Economics*. 2025. Vol. 227. P. 108395. doi: 10.1016/j.ecolecon.2024.108395.
3. **Urbinati, A., Chiaroni, D., Chiesa, V. and Frattini, F.** The role of digital technologies in open innovation processes: an exploratory multiple case study analysis // *R&d Management*. 2020. Vol. 50, № 1. P. 136-160. doi: 10.1111/radm.12314.
4. **Sung, T. K.** Industry 4.0: a Korea perspective // *Technological Forecasting and Social Change*. 2018. Vol. 132. P. 40-45. doi: 10.1016/j.techfore.2017.11.005.

5. **Nasir, Nadia, et al.** Technological revolution in industrial ecology. // *Energy Transition: Economic, Social and Environmental Dimensions*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. P. 1-28. doi: 10.1007/978-981-19-3540-4\_1.
6. **Гулямов С. С., Шермухамедов А. Т., Холбоев Б. М.** Цифровая экономика: инновационные цифровые технологии. – Москва: Современные инновационные технологии и проблемы устойчивого развития в условиях цифровой экономики, 2022. – 50–58.
7. **Ильинова В. В., Мицевич В. Д.** Международный опыт использования BIM-технологий в строительстве // *Российский внешнеэкономический вестник*. 2021. № 6. С. 79–93. doi: 10.24412/2072–8042-2021-6-79-93.
8. **Yu, S., & Zhang, I.** An economic mechanist of industrial ecologists: Theory and evidence // *Structural Change and Economic Dynamics*. 2021. Vol. 58. P. 14-22. doi: 10.1016/j.strueco.2021.03.008.
9. **Mengistu, A.T., & Panizzolo, R.** Metrics for measuring industrial sustainability performance in small and medium-sized enterprises // *International Journal of Productivity and Performance Management*. 2024. Vol. 73, № 1. P. 46-68. doi: 10.1108/IJPPM-04-2022-0200.
10. **Fuster Morell, M., Espelt, R. and Renau Cano, M.** Sustainable platform economy: Connections with the sustainable development goals // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, № 18. P. 7640. doi: 10.3390/su12187640.
11. **Zhong, X., Duan, Z., Liu, C. and Chen, W.** Research on the coupling mechanism and influencing factors of digital economy and green technology innovation in Chinese urban agglomerations // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, № 1. P. 5150. doi: 10.1038/s41598-024-55854-4.
12. **Кутепова П. С., Яковлева П. Э.** Анализ применения экологических инноваций предприятиями нефтегазового сектора // *Региональная экономика и развитие территорий / Под ред. Л. П. Совершаевой.* – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2022. – С. 110.
13. **Fuster Morell, M., Espelt, R. and Renau Cano, M.** Sustainable platform economy: Connections with the sustainable development goals // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, № 18. P. 7640. doi: <https://doi.org/10.3390/su12187640>.
14. **Vaezi, M., et al.** Digital twins from a networking perspective // *IEEE Internet of Things Journal*. 2022. Vol. 9, № 23. P. 23525-23544. doi: 10.1109/JIOT.2022.3200327.
15. **Ganesh, A. H. and Xu, B.** A review of reinforcement learning based energy management systems for electrified powertrains: Progress, challenge, and potential solution // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 154. P. 111833. doi: 10.1016/j.rser.2021.111833.
16. **Mishra, R., Singh, R. K. and Rana, N. P.** Digital orientation, digital eco-innovation and circular economy in the context of sustainable development goals

- // Business Strategy and the Environment. 2024. Vol. 33, № 4. P. 2752-2770. doi: 10.1002/bse.3619.
17. **Xu, Q., Zhong, M. and Cao, M.** Does digital investment affect carbon efficiency? Spatial effect and mechanism discussion // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 827. P. 154321. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154321.
  18. **Hao, X., et al.** The role of digitalization on green economic growth: Does industrial structure optimization and green innovation matter? // Journal of Environmental Management. 2023. vol. 325. P. 116504. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116504.
  19. **Klenk, Tanja.** Welfare state governance: going beyond New Public Management. In: Handbook on Welfare State Reform. – Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2025. – P. 91-105.
  20. **Chen, Y., et al.** Satellite-enabled internet of remote things network transmits field data from the most remote areas of the Tibetan plateau // Sensors. 2022. Vol. 22, № 10. P. 3713. doi: 10.3390/s22103713.
  21. **Zhang, W., et al.** Does citizen engagement with government social media accounts differ during the different stages of public health crises? An empirical examination of the COVID-19 pandemic // Frontiers in Public Health. 2022. Vol. 10. P. 807459. doi: 10.3389/fpubh.2022.807459.
  22. **Stahlberg, E. A., et al.** Exploring approaches for predictive cancer patient digital twins: Opportunities for collaboration and innovation // Frontiers in Digital Health. 2022. Vol. 4. P. 1007784. doi: 10.3389/fdgth.2022.1007784.
  23. **Kolagar, M., Parida, V. and Sjödin, D.** Ecosystem transformation for digital servitization: A systematic review, integrative framework, and future research agenda // Journal of Business Research. 2022. Vol. 146. P. 176-200. doi: 10.1016/j.jbusres.2022.03.067.
  24. **Liang, L. and Li, Y.** How does government support promote digital economy development in China? The mediating role of regional innovation ecosystem resilience // Technological Forecasting and Social Change. 2023. Vol. 188. P. 122328. doi: 10.1016/j.techfore.2023.122328.
  25. **Крутиков В. К., Косихина О. П., Мигел А. А.** Российские особенности внедрения цифровых технологий в условиях санкций // Экономика и предпринимательство. 2018. № 5 (94). С. 66.
  26. **Caliskan, Aylin, Sanem Eryilmaz, and Yucel Ozturkoglu.** Investigating the effects of barriers and challenges on Logistics 4.0 in the era of evolving digital technology // Journal of Modelling in Management. 2025. Vol. 20, № 3. P. 949-973. doi: 10.1108/jm2-01-2024-0026.
  27. **Zhang, C., et al.** Industry 4.0 and its implementation: A review // Information Systems Frontiers. 2024. Vol. 26, № 5. P. 1773-1783. doi: 10.25961/ent.manag.21.04.02.

28. **Chen, Jianlei, et al.** The Application of Digital Twin Technology in the Development of Intelligent Aquaculture: Status and Opportunities // *Fishes*. 2025. Vol. 10, № 8. P. 363. doi: 10.1016/j.compag.2024.108676.

### References

1. **Ukubassova, G.S., Zhakupova, A.M., Karabalayeva, G.K., Izekeeva, Z.K., & Kozhakhmetova, G.E.** The development of small and medium-sized enterprises in the modernization of industrial production in the case of the power complex enterprise // *Industrial Engineering & Management Systems*. 2020. Vol. 19, № 1. – P. 103-119.
2. **Gajanayake A., Iyer-Raniga U.** If there is waste, there is a system: Understanding Victoria’s circular economy transition from a systems thinking perspective // *Ecological Economics*. 2025. Vol. 227. P. 108395. doi: 10.1016/j.ecolecon.2024.108395.
3. **Urbinati, A., Chiaroni, D., Chiesa, V. and Frattini, F.** The role of digital technologies in open innovation processes: an exploratory multiple case study analysis // *R&D Management*. 2020. Vol. 50, № 1. P. 136-160. doi: 10.1111/radm.12314.
4. **Sung, T. K.** Industry 4.0: a Korea perspective // *Technological Forecasting and Social Change*. 2018. Vol. 132. – P. 40-45. doi: 10.1016/j.techfore.2017.11.005.
5. **Nasir, Nadia, et al.** Technological revolution in industrial ecology. In: *Energy Transition: Economic, Social and Environmental Dimensions*. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. – P. 1-28. doi: 10.1007/978-981-19-3540-4\_1.
6. **Gulyamov S. S., Shermukhamedov A. T., Kholboev B. M.** Tsifrovaya ekonomika: innovatsionnyye tsifrovyye tekhnologii // *Sovremennyye innovatsionnyye tekhnologii i problemy ustoychivogo razvitiya v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki*. – Moskva, 2022. – P. 50–58.
7. **Il’nova V. V., Mitskevich V. D.** Mezhdunarodnyy opyt ispol’zovaniya BIM-tekhnologiy v stroitel’stve // *Rossiyskiy vneshneekonomicheskii vestnik*. 2021. № 6. P. 79–93. doi: 10.24412/2072–8042-2021-6-79-93.
8. **Yu, S., & Zhang, I.** An economic mechanist of industrial ecologists: Theory and evidence // *Structural Change and Economic Dynamics*. 2021. Vol. 58. P. 14-22. doi: 10.1016/j.strueco.2021.03.008.
9. **Mengistu, A.T., & Panizzolo, R.** Metrics for measuring industrial sustainability performance in small and medium-sized enterprises // *International Journal of Productivity and Performance Management*. 2024. Vol. 73, № 1. P. 46-68. doi: 10.1108/IJPPM-04-2022-0200.
10. **Fuster Morell, M., Espelt, R. and Renau Cano, M.** Sustainable platform economy: Connections with the sustainable development goals // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, № 18. P. 7640. doi: 10.3390/su12187640.

11. **Zhong, X., Duan, Z., Liu, C. and Chen, W.** Research on the coupling mechanism and influencing factors of digital economy and green technology innovation in Chinese urban agglomerations // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, № 1. P. 5150. doi: 10.1038/s41598-024-55854-4.
12. **Kutepova P. S., Yakovleva P. E.** Analiz primeneniya ekologicheskikh innovatsiy predpriyatiyami neftegazovogo sektora // *Regional'naya ekonomika i razvitiye territoriy / Pod red. L. P. Sovershayevooy.* –SPb.: Izd-vo SPbGEU, 2022. – P. 110.
13. **Fuster Morell, M., Espelt, R. and Renau Cano, M.** Sustainable platform economy: Connections with the sustainable development goals // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, № 18. P. 7640. doi: <https://doi.org/10.3390/su12187640>.
14. **Vaezi, M., et al.** Digital twins from a networking perspective // *IEEE Internet of Things Journal*. 2022. Vol. 9, № 23. P. 23525-23544. doi: 10.1109/JIOT.2022.3200327.
15. **Ganesh, A. H. and Xu, B.** A review of reinforcement learning based energy management systems for electrified powertrains: Progress, challenge, and potential solution // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 154. P. 111833. doi: 10.1016/j.rser.2021.111833.
16. **Mishra, R., Singh, R. K. and Rana, N. P.** Digital orientation, digital eco-innovation and circular economy in the context of sustainable development goals // *Business Strategy and the Environment*. 2024. Vol. 33, № 4. P. 2752-2770. doi: 10.1002/bse.3619.
17. **Xu, Q., Zhong, M. and Cao, M.** Does digital investment affect carbon efficiency? Spatial effect and mechanism discussion // *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 827. P. 154321. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154321.
18. **Hao, X., et al.** The role of digitalization on green economic growth: Does industrial structure optimization and green innovation matter? // *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 325. P. 116504. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116504.
19. **Klenk, Tanja.** Welfare state governance: going beyond New Public Management. In: *Handbook on Welfare State Reform.* – Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2025. – P. 91-105.
20. **Chen, Y., et al.** Satellite-enabled internet of remote things network transmits field data from the most remote areas of the Tibetan plateau // *Sensors*. – 2022. Vol. 22, № 10. P. 3713. doi: 10.3390/s22103713.
21. **Zhang, W., et al.** Does citizen engagement with government social media accounts differ during the different stages of public health crises? An empirical examination of the COVID-19 pandemic // *Frontiers in Public Health*. 2022. Vol. 10. P. 807459. doi: 10.3389/fpubh.2022.807459.

22. **Stahlberg, E. A., et al.** Exploring approaches for predictive cancer patient digital twins: Opportunities for collaboration and innovation // *Frontiers in Digital Health*. 2022. Vol. 4. P. 1007784. doi: 10.3389/fdgth.2022.1007784.
23. **Kolagar, M., Parida, V. and Sjödin, D.** Ecosystem transformation for digital servitization: A systematic review, integrative framework, and future research agenda // *Journal of Business Research*. 2022. Vol. 146. P. 176-200. doi: 10.1016/j.jbusres.2022.03.067.
24. **Liang, L. and Li, Y.** How does government support promote digital economy development in China? The mediating role of regional innovation ecosystem resilience // *Technological Forecasting and Social Change*. 2023. Vol. 188. P. 122328. doi: 10.1016/j.techfore.2023.122328.
25. **Krutikov V. K., Kosikhina O. P., Miguel A. A.** Rossiyskiye osobennosti vnedreniya tsifrovyykh tekhnologiy v usloviyakh sanktsiy // *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2018. № 5 (94). P. 66.
26. **Caliskan, Aylin, Sanem Eryilmaz, and Yucel Ozturkoglu.** Investigating the effects of barriers and challenges on Logistics 4.0 in the era of evolving digital technology // *Journal of Modelling in Management*. 2025. Vol. 20, № 3. P. 949-973. doi: 10.1108/jm2-01-2024-0026.
27. **Zhang, C., et al.** Industry 4.0 and its implementation: A review // *Information Systems Frontiers*. 2024. Vol. 26, № 5. P. 1773-1783. doi: 10.25961/ent.manag.21.04.02.
28. **Chen, Jianlei, et al.** The Application of Digital Twin Technology in the Development of Intelligent Aquaculture: Status and Opportunities // *Fishes*. 2025. Vol. 10, № 8. P. 363. doi: 10.1016/j.compag.2024.108676.