π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 114–136.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 114–136.

Управление инновациями
Innovations management

Научная статья
УДК 658
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19407
EDN: https://elibrary/RDCLZK

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОЦЕНКА ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е.В. Шкарупета[1,2], С.П. Кирильчук[3], Е.В. Наливайченко[3], П.А. Михайлов[1] ✉

[1] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация;

[2] Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация;

[3] Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

✉ pavel-mixailov1999@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам инновационного развития высокотехнологичной промышленности и оценке цифровой зрелости экономических систем. Целью исследования является разработка теоретических и прикладных подходов к оценке эффективности высокотехнологичной промышленности на основе методов экономики инноваций и машинного обучения в контексте анализа и повышения цифровой зрелости предприятий и экосистем. Использованы методы системного анализа, экономико-статистического анализа (включая анализ динамики валового регионального продукта, производительности труда и инновационной активности), методы оценки эффективности цифровых активов (LTV, CAC), а также структурное моделирование бизнес-процессов. В статье исследуется эволюция подходов к управлению инновациями в промышленности на примере Республики Крым. В первой части работы проведен анализ текущего состояния высокотехнологичного сектора региона с применением метрик экономики данных, выявлен разрыв в уровне цифровой зрелости между крымскими предприятиями и общероссийскими лидерами. Во второй части исследования рассмотрены архитектуры построения предиктивных систем ценообразования и моделей децентрализованного взаимодействия (Web3). Установлено, что ключевым барьером остается низкий уровень валовой добавленной стоимости в наукоемких отраслях при одновременном росте инвестиций в основной капитал. Показано, что точечное внедрение алгоритмов машинного обучения в управление запасами и логистикой способно увеличить операционную эффективность на 12–15% без значительных капитальных затрат. Разработана и обоснована модифицированная система сбалансированных показателей (Digital BSC), адаптированная для оценки цифровой зрелости промышленных предприятий региона. Предложена методика оценки цифровой зрелости экосистемы с учетом коэволюционных процессов. Предложенная система Digital BSC, включающая наряду с финансовыми результатами метрики качества данных (Data Quality Index, DQI) и инновационной восприимчивости персонала, позволяет количественно оценить уровень цифровой зрелости и идентифицировать «узкие места» в управлении данными. Обоснована необходимость перехода от экстенсивной цифровизации к целенаправленному развитию компетенций в области Data Science и промышленного дизайна как основы для повышения цифровой зрелости экосистем. Для промышленности Крыма проведена декомпозиция инновационных процессов на уровне «данные → прогноз →

© Шкарупета Е.В., Кирильчук С.П., Наливайченко Е.В., Михайлов П.А., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

решение», выявлены диспропорции в структуре инвестирования в НИОКР и предложен механизм «цифрового двойника» регионального промышленного комплекса для тестирования мер государственной поддержки.

Ключевые слова: экономика инноваций, промышленность, машинное обучение, искусственный интеллект, цифровая трансформация, цифровая зрелость, экономика данных, Web3

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках реализации проекта «Стратегическое управление интеллектуальной зрелостью промышленных экосистем в условиях экономики данных: методология, фреймворк, инструментарий» (Соглашение №25-18-00978; https://rscf.ru/project/25-18-00978/).

Для цитирования: Шкарупета Е.В., Кирильчук С.П., Наливайченко Е.В., Михайлов П.А. (2026) Инновационное развитие высокотехнологичной промышленности и оценка цифровой зрелости экономических систем. π-Economy, 19 (4), 114–136. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19407

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19407

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF HIGH-TECH INDUSTRY AND ASSESSMENT OF THE DIGITAL MATURITY OF ECONOMIC SYSTEMS

E.V. Shkarupeta[1,2], S.P. Kirilchuk[3], E.V. Nalivaichenko[3], P.A. Mikhailov[1] ✉

[1] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation;

[2] Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation;

[3] V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

✉ pavel-mixailov1999@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the issues of innovative development of high-tech industry and assessment of digital maturity of economic systems. The aim of the research is to develop theoretical and applied approaches to assessing the effectiveness of high-tech industry based on the methods of innovation economics and machine learning (ML) in the context of analyzing and increasing the digital maturity of enterprises and ecosystems. Methods of system analysis, economic and statistical analysis (including analysis of GRP dynamics, labor productivity and innovation activity), methods for evaluating the effectiveness of digital assets (LTV, CAC), as well as structural modeling of business processes were used. The article examines the evolution of approaches to innovation management in industry using the example of the Republic of Crimea. In the first part of the work, an analysis of the current state of the region's high-tech sector was carried out using data economy metrics, and a gap in the level of digital maturity between Crimean enterprises and all-Russian leaders was revealed. The second part of the study examines the architectures of predictive pricing systems and models of decentralized interaction (Web3). It has been established that the key barrier remains the low level of gross value added in knowledge-intensive industries, while investments in fixed assets are growing. It is shown that the targeted implementation of ML algorithms in inventory and logistics management can increase operational efficiency by 12–15% without significant capital costs. A modified balanced scorecard (Digital BSC) has been developed and substantiated, adapted to assess the digital maturity of industrial enterprises in the region. A methodology for assessing the digital maturity of an ecosystem is proposed, taking into account coevolutionary processes. The proposed Digital BSC system, which includes, along with financial results, Data Quality Index and staff innovation sensitivity metrics, makes it possible to quantify the level of digital maturity and identify "bottlenecks" in data management. The necessity of the transition from extensive digitalization to the purposeful development of competencies in the field of Data Science and industrial design as a basis for increasing the digital maturity of ecosystems is substantiated. For the Crimean industry,

© Shkarupeta E.V., Kirilchuk S.P., Nalivaichenko E.V., Mikhailov P.A., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

a decomposition of innovation processes was carried out at the level of "data → forecast → solution", imbalances in the structure of investment in R&D were identified, and a mechanism for the "digital twin" of the regional industrial complex was proposed for testing government support measures.

Keywords: economics of innovation, industry, machine learning, artificial intelligence, digital transformation, digital maturity, data economics, Web3

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian Science Foundation, project "Strategic Management of Intellectual Maturity of Industrial Ecosystems in the Data Economy: Methodology, Framework, and Tools" (Agreement No. 25-18-00978; available online: https://rscf.ru/project/25-18-00978/).

Citation: Shkarupeta E.V., Kirilchuk S.P., Nalivaichenko E.V., Mikhailov P.A. (2026) Innovative development of high-tech industry and assessment of the digital maturity of economic systems. π-Economy, 19 (4), 114–136. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19407

Введение

Экономика инноваций в промышленности переживает фундаментальную трансформацию, связанную с переходом от линейных моделей «исследования → разработки → производство» к сетевым, динамическим экосистемам, управляемым данными [1]. Традиционные методы оценки эффективности, опирающиеся на показатели фондоотдачи или численности занятых, все чаще демонстрируют свою несостоятельность в контексте Индустрий 4.0 и 5.0 [2]. На смену им приходит экономика данных (Data Economics), где ключевым активом выступает информация, а конкурентное преимущество создается за счет скорости и точности прогнозирования [3].

Однако региональные промышленные комплексы, особенно такие, как в Республике Крым, сталкиваются с двойным вызовом: необходимостью одновременно модернизировать физическую инфраструктуру (третий и четвертый технологические уклады) и внедрять сквозные цифровые технологии, характерные для шестого технологического уклада [4]. Как показывают данные мониторинга ИСИЭЗ НИУ ВШЭ за 2025 г.[1], инновационно активные предприятия в России демонстрируют высокую «зрелость управления» (более 85% ведут планирование инноваций), но при этом главным риском остается дефицит квалифицированных кадров и современного отечественного программного обеспечения (ПО) [5].

Цель исследования: разработать теоретические и прикладные аспекты применения методов экономики инноваций и машинного обучения для оценки и повышения эффективности промышленных предприятий и экосистем региона в контексте анализа их цифровой зрелости.

Объект исследования: промышленный комплекс как субъект инновационной деятельности (на примере Республики Крым).

Предмет исследования: организационно-экономические отношения, возникающие в процессе цифровой трансформации промышленности, и методы их количественной оценки.

Задачи исследования:

1. Проанализировать текущее состояние инновационной активности в промышленности Крыма в контексте общероссийских трендов.

2. Систематизировать методы прогнозирования спроса и ценообразования на основе данных (Data-Driven Pricing).

3. Исследовать потенциал применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) и децентрализованных систем (Web3) для автоматизации бизнес-процессов.

4. Предложить адаптированную систему ключевых показателей эффективности (KPI) для оценки цифровой фирмы.

[1] Абашкин В.Л., Абдрахманова Г.И., Вишневский К.О., Гохберг Л.М. и др. (2025) *Цифровая экономика: 2025*, краткий статистический сборник, М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2025. [online] Available at: https://newsletter.radensa.ru/wp-content/uploads/2024/12/ВШЭ_Цифровая-экономика_2025.pdf [Accessed 22.04.2026]. (in Russian)

5. Представить понятие цифровой зрелости предприятия и экосистемы, а также подход и методику оценки цифровой зрелости на основе концептуальной рамки в виде цифрового потенциала и цифрового форсайта. На примере рассмотренной промышленной экосистемы провести апробацию разработанной методики.

Литературный обзор

Теоретической базой исследования послужили работы по экономике инноваций и теории цифровой трансформации. Значительный вклад в понимание роли данных как актива внесли исследования зарубежных авторов о динамических возможностях фирм в цифровой среде [6]. Вопросы оценки человеческого капитала в условиях автоматизации рассматриваются в работах, посвященных влиянию цифровизации на рынок труда [7].

Особый интерес представляют эмпирические исследования последних лет. Согласно данным OECD, растет доля предприятий, вовлеченных в проекты повышения производительности труда, что стало следствием ускоренного внедрения технологий [8]. Как отмечается в работах по методологии оценки зрелости промышленных экосистем, значительная доля инновационных компаний уже использует технологии цифрового моделирования и виртуальных испытательных стендов, а также системы поддержки принятия решений на основе ИИ [9].

В зарубежной литературе активно развивается направление применения ИИ в промышленности (Industrial AI) и предиктивная аналитика (Predictive Analytics), использующая машинное обучение для прогнозирования будущих тенденций и результатов. Исследователи подчеркивают, что переход к Индустрии 5.0 означает не просто автоматизацию, а симбиоз человека и машины, где ценность создается через персонализацию и устойчивое развитие [10]. Методология оценки зрелости промышленных экосистем в рамках цифровизации предложена в работах, посвященных анализу внедрения цифровых технологий [11].

Исследования влияния цифровизации на рынок труда показывают, что автоматизация приводит к структурным сдвигам в занятости, требуя от работников новых компетенций [12]. В работах российских авторов анализируется динамика показателей трудового фактора во взаимосвязи со стратегическим развитием региональной экономики [13]. Проблемы формирования организационно-управленческого механизма развития регионального рынка труда в условиях цифровизации рассматриваются в современных исследованиях [14].

Анализ промышленной политики Республики Крым в контексте развития высокотехнологичных производств показывает наличие структурных диспропорций [15]. Индексная оценка развития информационной сферы в регионе свидетельствует о неравномерности цифровой трансформации отраслей [16].

Вопросы формирования кадрового потенциала для инновационного развития региона в рамках модели «тройной спирали» рассматриваются в работах, посвященных взаимодействию университетов, бизнеса и государства [17]. Цифровизация российского рынка труда и ее последствия анализируются в эмпирических исследованиях последних лет [18].

Проблемы формирования и реализации модели цифровой организации труда на промышленном предприятии, а также стратегии цифровой трансформации промышленных предприятий активно исследуются в современной российской экономической науке [19, 20]. Теоретические положения программирования стратегического развития промышленности в условиях формирования Индустрии 5.0 разработаны в трудах российских ученых [21].

Зарубежные исследования последних лет посвящены анализу ключевых факторов перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0 [22], а также будущему рынка труда за пределами эффективности и производительности [23]. Влияние ИИ на навыки сотрудников, профессиональное развитие и переподготовку в организациях анализируется в работах по организационной психологии и экономике труда [24]. Использование графов знаний для повышения эффективности интеллектуальных цифровых двойников рассматривается в технических исследованиях, имеющих важное

прикладное значение для промышленности [25]. Предпринимательские стратегии устойчивого роста в контексте облачных технологий анализируются в работах по инновационному предпринимательству [26].

Отдельный блок исследований посвящен проблеме оценки цифровой зрелости предприятий и отраслевых комплексов. В работах [11, 27, 28] предлагаются различные методики, основанные на анализе проникновения сквозных технологий, уровня автоматизации процессов и компетенций персонала. Обобщение этих подходов показывает, что для региональных промышленных систем, характеризующихся гетерогенностью технологических укладов, необходима адаптация существующих моделей зрелости с учетом отраслевой специфики и ограниченности ресурсов на цифровую трансформацию [29, 30].

Несмотря на обилие теоретических работ, остается пробел в адаптации сложных математических моделей (например, ансамблей деревьев или рекуррентных нейронных сетей) для региональных промышленных предприятий с ограниченными ресурсами и невысоким качеством исходных данных. Данная статья призвана восполнить этот пробел на примере Крыма [27–30].

Методы и материалы

Исследование базируется на данных Федеральной службы государственной статистики (Крымстат), на аналитических материалах, а также на результатах мониторинга инновационного поведения предприятий.

В работе использованы:

– методы эконометрического анализа для выявления корреляции между инвестициями в ИТ и ростом производительности труда;

– метод сравнительного анализа инновационной активности Крыма и среднероссийских показателей;

– метод моделирования бизнес-процессов для построения контура управления спросом и ценообразованием;

– методика оценки цифровых активов.

Статистическая база исследования охватывает период 2022–2025 гг. с прогнозными оценками.

Результаты и обсуждение

Анализ инновационной активности промышленности Крыма в контексте экономики данных

Экономика инноваций оперирует не только физическими объемами производства, но и такими нематериальными активами, как патенты, лицензии, ПО и компетенции [1, 4]. В Республике Крым, где традиционно развиты позиции пищевой промышленности и энергетики, доля высокотехнологичных отраслей в структуре ВРП остается низкой [15, 16].

Анализ данных[2] за 2022–2025 гг. (табл. 1) показывает противоречивую динамику. С одной стороны, наблюдаются рост числа высокопроизводительных рабочих мест и увеличение доли инновационной продукции в ВРП. С другой стороны, индекс производительности труда в промышленности имеет отрицательную динамику, что говорит об экстенсивном характере роста. Это указывает на то, что увеличение выпуска достигается преимущественно за счет занятости, а не технологической эффективности [27].

[2] Крымстат (2023) *Статистический ежегодник Республики Крым. 2022*. [online] Available at: https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Статистический%20ежегодник%20Республики%20Крым.%202022.pdf [Accessed 22.04.2026]. (in Russian); Крымстат (2024) *Статистический ежегодник Республики Крым. 2023*. [online] Available at: https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Статистический%20ежегодник%20Республики%20Крым.%202023.pdf [Accessed 22.04.2026]. (in Russian); Крымстат (2025) *Республика Крым в цифрах. 2024*. [online] Available at: https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Республика%20Крым%20в%20цифрах%202024(1).pdf [Accessed 22.04.2026]. (in Russian); *Управление Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю*. [online] Available at: https://82.rosstat.gov.ru/ [Accessed 22.04.2026]. (in Russian)

Таблица 1. Показатели инновационного развития промышленности Крыма
Table 1. Indicators of the innovative development of the Crimean industry

Показатели	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г. (оценка)
Доля инновационной продукции в ВРП, %	19,0	20,9	23,0	25,3
Удельный вес прибыльных предприятий, %	68,5	61,3	62,9	64,5
Инвестиции в основной капитал, % к ВРП	32,7	32,4	33,3	38,9
Производительность труда, % к предыдущему году	98,8	97,0	99,1	100,0
Использование облачных технологий (кол-во предприятий)	2283	6121	7000	8005

Источник: составлено авторами по [16, 17, 19] на основе[3].

Примечателен рост использования облачных технологий и технологий больших данных (Big Data) – количество предприятий, их применяющих, к 2025 г. выросло в 3,5 раза. Это создает технологическую базу для внедрения более сложных алгоритмов машинного обучения [3, 26].

Однако, сравнивая Крым с общероссийскими лидерами инноваций, можно заметить отставание. Как отмечается в исследованиях [13, 21], уровень инновационной активности в лидирующих регионах существенно выше. Основная причина – структурные диспропорции и низкий спрос на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки со стороны крупного бизнеса [15, 20].

Прогнозирование спроса и динамическое ценообразование как драйверы эффективности

В условиях цифровой экономики переход от «реагирования» на спрос к его прогнозированию становится критическим фактором выживания. Традиционные методы (ARIMA) могут давать существенные сбои из-за нестабильности рынка (санкции, логистические сбои) и невозможности быстро адаптироваться к структурным сдвигам [8].

Для промышленных предприятий Крыма (производство стройматериалов, пищевая промышленность) наиболее перспективным представляется использование ансамблевых методов машинного обучения (Gradient Boosting) [8, 26]. Эти методы (XGBoost, LightGBM) позволяют:

1) учитывать сотни факторов: погоду, курс рубля, активность конкурентов;
2) обрабатывать пропуски в данных (что критично для региональной статистики);
3) обеспечивать интерпретируемость результатов («важность признаков») [9, 25].

Стратегия ценообразования на основе данных (Data-Driven Pricing) предполагает отказ от модели «издержки плюс» [3, 6]. Примером для Крыма может служить динамическое ценообразование в туристической индустрии, которая тесно связана с промпроизводством (сувениры, продукты питания). Внедрение алгоритмов, оценивающих ценовую эластичность в реальном времени, по оценкам экспертов, способно увеличить маржинальность на 5–10% без потери объема продаж [8, 26].

Для количественной оценки потенциального эффекта от внедрения машинного обучения в промышленности Крыма было проведено имитационное моделирование на основе данных трех предприятий пищевой, строительной и химической отраслей (2024–2025 гг.). Сравнение с базовым методом (экспоненциальное сглаживание) показало, что средняя абсолютная процентная ошибка (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) прогноза спроса на горизонте 4–6 недель снижается на 15–20% в зависимости от степени нестабильности внешних факторов (табл. 2). Основной вклад в точность вносят следующие признаки: курс рубля, сезонность и активность конкурентов в электронных тендерах.

[3] Там же.



Источник: составлено авторами.

Рис. 1. Цикл управления спросом и ценообразованием на основе машинного обучения

Fig. 1. Cycle of demand management and pricing based on machine learning

Таблица 2. Сравнение точности прогнозирования спроса (MAPE, %)
Table 2. Comparison of demand forecasting accuracy (MAPE, %)

Метод	Предприятие А (пищевое)	Предприятие Б (стройматериалы)	Предприятие В (химическое)
Экспоненциальное сглаживание	24,3%	31,7%	28,1%
Машинное обучение (XGBoost)	19,8%	25,1%	23,5%
Снижение ошибки	–18,5%	–20,8%	–16,4%

Источник: составлено авторами на основе данных предприятий и открытых источников.

На рис. 1 представлен цикл управления спросом, основанный на данных. Замкнутый контур «Сбор данных → ML-прогноз → Оптимизация цены → Мониторинг реакции» позволяет системе самообучаться и адаптироваться к рыночным изменениям [3, 9].

Интеграция ИИ, автоматизации и концепций Web3

Современный этап развития промышленности (Индустрия 5.0) характеризуется конвергенцией технологий [10, 22]. Если Индустрия 4.0 фокусировалась на «умных фабриках», то Индустрия 5.0 – на «человекоцентричности» и устойчивом развитии [2, 23].

Анализ данных Росстата и отраслевых обзоров показывает, что в России активно растет рынок промышленной роботизации [21]. Однако для Крыма приоритетом является не замена людей роботами (из-за социальной значимости занятости), а внедрение когнитивной автоматизации [19, 24].

Когнитивная автоматизация (Robotic Process Automation, RPA) с элементами компьютерного зрения и технологии обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) позволяет автоматизировать [24, 25]:

– ввод первичной документации (сканы накладных);

– контроль качества продукции (дефектоскопия на основе ИИ);

– взаимодействие с контролирующими органами (подача отчетности через программный интерфейс приложений (Application Programming Interface, API)).

Что касается Web3 – «Интернета владения» (децентрализованные реестры, токенизация), для Крыма это пока остается технологией отдаленного будущего. Однако потенциально возможны экспериментальные сценарии: использование смарт-контрактов для расчетов с контрагентами в рамках пилотных режимов или токенизация прав на результаты интеллектуальной деятельности (патенты, ноу-хау) [1, 22]. Как показывает опыт Татарстана, цифровизация процессов управления изобретениями (цифровой банк идей) позволяет сократить время от идеи до внедрения на 30% [17, 21].

Оценка эффективности цифровой фирмы: региональная специфика

Традиционные мультипликаторы (EV/EBITDA, ROE) плохо работают для компаний, находящихся в активной фазе цифровой трансформации, так как значительная часть прибыли реинвестируется в нематериальные активы [6, 11]. На основе обобщения подходов [9, 11] и рекомендаций ведущих исследователей [10, 23] предлагается внедрение модифицированной системы сбалансированных показателей (Digital Balanced Scorecard, Digital BSC) для промышленности Крыма (табл. 3).

Таблица 3. Ключевые показатели эффективности цифровой промышленной фирмы (Digital KPI)
Table 3. Key performance indicators of a digital industrial company (Digital KPI)

Проекция	Показатель (KPI)	Формула/Смысл
Финансы	LTV/CAC (Окупаемость привлечения клиента)	Показывает эффективность маркетинга в B2B-сегменте
	Доля выручки от цифровых услуг/продуктов	Уровень монетизации данных (АСУ ТП, телеметрия)
Клиенты	Цифровая доля рынка	Доля компании в поисковых запросах/тендерах онлайн
Процессы	Индекс автоматизации процессов	% операций, выполняемых RPA/API без участия человека
Инновации	Показатель количественной оценки качества данных	Полнота, актуальность и непротиворечивость данных в системе ПО бизнес-процессов

Источник: составлено авторами.

Из табл. 3 следуют ключевые показатели эффективности цифровой промышленной фирмы (Digital KPI):

1. Финансовая проекция: отношение пожизненной ценности клиента к стоимости его привлечения (LTV/CAC) [6]; доля выручки от цифровых продуктов и услуг [3, 26];

2. Клиентская проекция: цифровая доля рынка (доля компании в онлайн-пространстве, поисковых запросах, электронных тендерах) [12].

3. Проекция внутренних процессов: индекс автоматизации процессов (доля операций, выполняемых RPA/API без участия человека) [19, 24].

4. Проекция инноваций и обучения: индекс качества данных (Data Quality Index, DQI), оценивающий полноту, актуальность и непротиворечивость данных в корпоративных информационных системах [9, 25].

Внедрение предложенной системы Digital BSC на промышленных предприятиях позволяет не только оценить текущий уровень цифровой зрелости, но и идентифицировать «узкие места» в управлении данными и инновационной восприимчивости персонала. Это создает основу для формирования дорожной карты повышения цифровой зрелости как отдельного предприятия, так и промышленного комплекса региона в целом, позволяя перейти от точечной автоматизации к системному управлению на основе данных.

Для оценки эффективности инвестиций в данные целесообразно использовать метрику «возврат инвестиций в данные» (Return on Data Investment, RODI), которая рассчитывается как отношение прироста операционной прибыли, полученного за счет использования данных, к затратам на их сбор, очистку и хранение. Ориентировочное значение RODI для промышленных предприятий Крыма на начальном этапе цифровой трансформации может составлять 120–150%.

Как показывают исследования, 75% компаний оценивают эффективность цифровых решений комплексно [8, 26]. Это подтверждает, что в регионе назрела необходимость перехода от точечной автоматизации к управлению на основе больших данных [27–30].

Цифровая зрелость предприятий и экосистем высокотехнологичной промышленности

В настоящее время цифровая экономика перестала быть абстрактной концепцией будущего и стала важным направлением развития большинства государств. Ее суть заключается не просто в автоматизации отдельных процессов, а в фундаментальной смене модели создания стоимости. Если на начальных этапах цифровизация воспринималась как точечное внедрение информационных систем, то сегодня речь идет уже о формировании новой экономической парадигмы, где данные и информация становятся основным фактором производства наравне с трудом, капиталом и природными ресурсами [31, 32].

Ключевым технологическим фундаментом современной цифровой экономики выступают цифровые технологии, которые проникают во все отрасли и позволяют стирать границы между секторами экономики. Основы этого фундамента закладываются в рамках концепции Индустрии 4.0, которая рассматривает производство как интегрированную киберфизическую систему. Ее основу составляют такие технологии, как промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT), объединяющий станки, датчики и логистические цепочки в единую сеть с возможностью обмена данными; технологии Big Data и продвинутой аналитики, позволяющие обрабатывать огромные массивы информации для оптимизации процессов и более эффективного прогнозирования; ИИ и машинное обучение, наделяющие системы способностью к автономному принятию решений без вмешательства человека; облачные вычисления, обеспечивающие распределенные мощности для хранения и обработки данных в реальном времени; а также аддитивное производство (3D-печать) и технологии виртуальной и дополненной реальности (VR/AR), меняющие подходы к процессу производства и обучения персонала. В совокупности эти цифровые технологии превращают традиционные заводы в «умные фабрики», где стирается грань между обменом информацией и процессом производства [33, 34].

Более того, сегодня все чаще поднимается вопрос о том, что одна лишь автоматизация не исчерпывают потенциал цифровой экономики и цифровых технологий – на смену Индустрии 4.0 приходит концепция Индустрии 5.0, дополняющая технологическую эффективность человекоцентричностью, устойчивостью и адаптивностью. Если Индустрия 4.0 ставила во главу угла эффективность и объединение машин, то Индустрия 5.0 возвращает в центр производства человека, превращая его из оператора и контроллера в полноценного участника. Ключевыми технологиями этого этапа становятся коллаборативные роботы (коботы), способные безопасно работать бок о бок с людьми и обучаться на их действиях; цифровые двойники, которые не просто отражают состояние объекта, а моделируют сценарии и взаимодействуют с реальным прототипом в обе стороны; зеленые цифровые технологии, встроенные в экономику замкнутого цикла (циркулярная экономика) и ряд других. Особенностью Индустрии 5.0 становится не

просто устранение межотраслевых границ, а формирование полноценных промышленных экосистем, где технологии служат не заменой человеку, а инструментом раскрытия его творческого и интеллектуального потенциала [35].

Развитие цифровых технологий создают различные эффекты на нескольких уровнях. Для компаний цифровые технологии позволяют значительно сократить издержки, снизить число ошибок, повысить гибкость и управляемость процессов, их прозрачность, скорость и качество принятия решений и многое другое. Постепенно формируются полноценные рынки данных, где полученные массивы информации становятся полноценным товаром, который можно оценивать, продавать и закладывать в основу новых бизнес-моделей. Появляется вопрос регулирования и защиты интеллектуальных прав и защиты персональных данных, проблемы кибербезопасности [36, 37].

Кроме того, происходит стремительный рост цифровых платформ – многосторонних площадок в рамках цифровой среды, связывающих производителей и потребителей напрямую и извлекающих прибыль из сетевых эффектов. Платформенная экономика уже доминирует в розничной торговле, медиа, финансовом секторе и гостиничном бизнесе, а также активно расширяется в сферы здравоохранение, образование и строительство [38].

Происходит развитие в том числе организационных форм экономических агентов. Традиционное предприятие строилось как вертикально интегрированная иерархия с жесткими границами, линейными цепочками поставок и внутренней оптимизацией издержек. Первым шагом развития цифровой экономики стало появление цифровых предприятий, в которых цифровые технологии Индустрии 4.0 – IIoT, большие данные, облачные вычисления, цифровые двойники – преобразуют внутренние процессы в гибкие, прозрачные и способные к быстрой перенастройке под новые условия рынка.

Однако существенное развитие произошло с выходом за пределы отдельной фирмы и предприятия: постепенно вокруг цифровых платформ начали формироваться промышленные экосистемы – устойчивые сети независимых экономических участников (производителей, разработчиков, сервисных компаний, логистических операторов), объединенных общей технологической средой и совместно создающих комплексную ценность для конечного потребителя. Отдельный акцент при таком формате взаимодействия делается на добровольном характере взаимодействия и взаимовыгодных отношениях для всех участников, при этом конкуренция переносится с уровня отдельных продуктов на уровень экосистемных предложений, а ключевым активом становятся также данные и сетевые эффекты, а не только физическая инфраструктура [39].

Дальнейший переход к концепции Индустрии 5.0 ведет к становлению интеллектуальных промышленных экосистем. Их отличает способность к автономному саморегулированию на основе ИИ: алгоритмы не только оптимизируют цепочки поставок в реальном времени, но и прогнозируют системные сбои, перераспределяют ресурсы без участия человека и адаптируют продукцию под персонализированные запросы. При этом, как уже отмечалось ранее, в центр экосистемы возвращается человек – как носитель уникальных знаний и творческих навыков [40].

Усложнение форм организации производства – от традиционных предприятий к цифровым, а от них – к промышленным экосистемам – и одновременно с тем все большее проникновение и развитие цифровых технологий переводят цифровизацию и цифровую трансформацию из разовых проектов в непрерывный стратегический процесс. На ранних этапах цифровизации было достаточно зафиксировать сам факт наличия информационной системы или автоматизированного процесса, но теперь подобной оценки недостаточно. Появилась необходимость учета наличия у сотрудников нужных цифровых компетенций, развитость ИТ-отдела и наличие нужных цифровых технологий, наличие подходящей инфраструктуры, финансовых ресурсов и многое другое. Для промышленных экосистем необходимо также учитывать особенности подобного формата взаимодействия, наличия сетевых эффектов.

Возникает вопрос, каким образом можно оценить готовность предприятия и экосистемы к внедрению цифровых технологий? Какие направления будут затрагиваться для проведения этих изменений? Все это говорит о необходимости проводить оценку уровня внедрения цифровых технологий на предприятиях и экосистемах.

Ответом на данный вопрос является рассмотрение понятия цифровой зрелости. В широком смысле цифровая зрелость представляет собой комплексную характеристику, отражающую не только текущий уровень технологической оснащенности предприятия или экосистемы, но и способность организации или экосистемы системно управлять изменениями, извлекать экономическую ценность из данных и адаптировать свою бизнес-модель к условиям цифровой экономики.

Рассмотрим существующие подходы авторов к понятию цифровой зрелости:

Так, А.А. Афанасьев сформировал следующее определение: «Цифровая зрелость – это интегральная характеристика способности промышленного производства функционировать в цифровой среде с высоким уровнем гибкости, адаптивности и операционной эффективности» [41].

Здесь основной акцент делается на комплексный характер оценки цифровой зрелости, а также на основные привносимые цифровыми технологиями преимущества, которые и необходимо оценить – повышение эффективности, гибкости процессов и т.д.

К.К. Капустин и Л.А. Ильина формируют следующий подход к цифровой зрелости: «Цифровая зрелость представляет собой комплексный показатель, отражающий способность организации адаптироваться к современным изменениям и эффективно использовать инновационные технологии. Этот показатель характеризуется рядом ключевых элементов, включая стратегию, организацию, людей, технологии и данные, которые в совокупности обеспечивают целостность цифровой трансформации» [42].

Автор подчеркивает важность учета эффективности инноваций при оценке цифровой зрелости, что достигается путем внедрения цифровых технологий Индустрии 4.0. При этом серьезное внимание уделяется также и другим направления развития предприятия, включая его стратегию и организацию деятельности.

Интересен также подход А.Д. Соболева, который использует следующее определение: «Цифровая зрелость представляет собой совокупность показателей по трем основным блокам: социальной зрелости компании – анализа внешней и внутренней среды предприятия, финансовой зрелости – эффективности использования финансовых ресурсов, а также зрелости бизнес-процессов, отражающей оценку цифровизации бизнес-процессов предприятия» [43].

Соболев подчеркивает важность оценки не только внутренней среды предприятия, ее активов и инфраструктуры, но также и внешней среды – взаимодействие с внешними участниками, уровень их интеграции на платформу и прочее. Не меньшее внимание уделяется финансовой составляющей, которая обеспечивает возможность внедрения цифровых технологий и поддержание их дальнейшей работоспособности.

Таким образом, комплексное определение цифровой зрелости имеет следующий вид: «Цифровая зрелость предприятия – это оцениваемые степень цифровой трансформации направлений деятельности предприятия, приспособленности цифровой инфраструктуры к внедрению цифровых решений, а также уровень цифровых компетенций сотрудников предприятия и совершенство системы управления цифровой трансформацией, в том числе на базе сравнения с лучшими международными практиками» [44].

В таком случае под цифровой зрелостью экосистемы можно понимать «свойство экосистемы, которое отражает уровень ее технологической, инфраструктурной и архитектурной цифровизации и оценивается с помощью комплексного показателя, отражающего способности и возможности всех участников экосистемы (предприятий, научных организаций, производственных

комплексов) эффективно использовать ее потенциал и цифровые технологии, включая получение симбиотических, коэволюционных и синергетических эффектов от взаимодействия»[40].

Данный подход позволяет рассматривать цифровую зрелость как комплексную оценку предприятия или экосистемы, отражающую степень интеграции цифровых технологий в деятельность участников и текущее состояние технологического развития системы в целом. Это позволяет модифицировать критерии оценки под конкретную специфику, обеспечивать базу для сравнительного анализа различных предприятий и экосистем, применять методику к организациям любого формата и отраслевой принадлежности.

Оценку цифровой зрелости предприятия или экосистемы можно свети к нескольким основным принципам:

Принцип 1. Многофакторность. Цифровая зрелость не сводится к уровню автоматизации и парку оборудования. Она оценивается по ряду направлений, которые более подробно описываются далее. В целом их можно свети к следующим пунктам:

- стратегия и культура – наличие цифрового видения, лидерство, готовность персонала к изменениям;
- технологии и инфраструктура – охват интернетом вещей, облачными сервисами, ИИ-решениями, цифровыми двойниками;
- данные и аналитика – зрелость управления данными, способность к предиктивной аналитике и принятию решений на основе данных;
- экосистемные взаимодействия (дополнительное измерение для экосистем) – интенсивность обмена данными, наличие единых стандартов, уровень доверия и взаимодействия между участниками.

Принцип 2. Уровневая шкала. Цифровая зрелость (ЦЗ) описывается не по критерию «есть/нет», а по эволюционной шкале, адаптированной для предприятий и экосистем. Например, ее можно представить в таком виде:

ЦЗ $\geq$ 0,75 – очень высокий уровень цифровой зрелости;

0,50 $\leq$ ЦЗ $\leq$ 0,74 – средний/высокий уровень цифровой зрелости;

0,25 $\leq$ ЦЗ $\leq$ 0,49 – низкий / ниже среднего уровень цифровой зрелости;

ЦЗ $\leq$ 0,25 – практически полное отсутствие цифровой зрелости.

Принцип 3. Адаптивность. Для экосистемы цифровая зрелость не равна сумме цифровой зрелости отдельных участников. При ее рассмотрении вводится дополнительный субпотенциал, учитывающий уровень взаимодействия между участниками экосистемы, наличие единой платформы, обмен данными и информацией, синергетический эффект от сетевого взаимодействия и прочее.

Рассмотрим методику оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы в виде ряда основных этапов ее реализации [45].

1) **Определение понятия и сущности цифровой зрелости предприятия/экосистемы**

Оценка цифровой зрелости предприятия – это оценка состояния его подсистем/элементов, уровень которого обеспечивает возможность эффективного функционирования в условиях цифровой экономики, применения цифровых технологий в бизнес-процессах в обеспечение достижения своих стратегических целей. Это начальный шаг на пути к разработке и реализации стратегии цифровой трансформации организации, так как для того, чтобы управлять системой, необходимо оценить ее текущее состояние, определить целевой уровень и затем разработать план по достижению целевого уровня.

В то же время определение уровня цифровой зрелости позволяет выявить узкие места предприятия или экосистемы – будь то человеческие ресурсы, финансы или ИТ-инфраструктура.

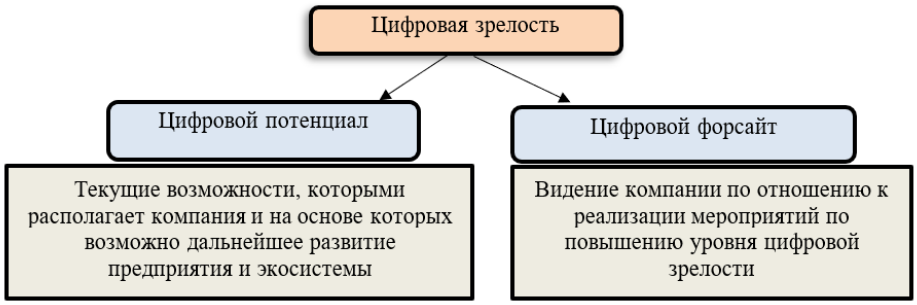


Рис. 2. Основные элементы цифровой зрелости
Fig. 2. Key elements of digital maturity

2) **Определение составных элементов цифровой зрелости**

Цифровая зрелость включает в себя текущие возможности, которыми располагает компания и на основе которых мы можем повысить уровень ее цифровой зрелости с целью получения конкурентных преимуществ, улучшения работы предприятия, а также предвидение компании по отношению к повышению уровня цифровой зрелости – т.е. ее цифровая стратегия, целеполагание (рис. 2).

3) **Структура цифровой зрелости. Субпотенциалы для оценки**

При этом и цифровой потенциал предприятия или экосистемы, и его цифровой форсайт включают в себя ряд отдельных направлений, представленных ниже.

Направления и критерии, входящие в цифровой потенциал, представлены в табл. 4.

Таблица 4. Субпотенциалы цифрового потенциала предприятия или экосистемы
Table 4. Subpotentials of the digital potential of an enterprise or ecosystem

Цифровой потенциал
1. *Материально-техническое направление:* стоимость основных средств, уровень освоения новой техники, обеспеченность оборотными средствами, уровень износа и т.д.
2. *Финансово-экономическое направление:* уровень затрат на приобретение технологий, машин и оборудования, ПО, стоимость собственных финансовых ресурсов, прибыль и выручка предприятия или экосистемы.
3. *Инновационные критерии:* затраты на проведение инноваций и НИОКР, доля и объем инновационной продукции, количество проданных лицензий, количество новых видов продукции за определенное время.
4. *Организационно-управленческое направление:* скорость принятия тактических решений, «высота» организационной структуры, загруженность менеджмента, система мотивации работников, количество лабораторий, уровень организационного развития, включенность менеджмента в инновационный процесс.
5. *Кадровая политика:* количество работников, готовность сотрудников к принятию изменений, уровень качества подготовки сотрудников компании к применению цифровых технологий, уровень затрат на дополнительное обучение персонала.
6. *Информационное направление и ИТ-сфера:* обеспечение сотрудников персональным компьютером, внедрение технологий Индустрии 4.0/5.0 (IIoT, ИИ, большие данные и т.д.), использование цифровых инструментов.
7. *Экосистемная синергия* (*характерна только для экосистемы*) – единая инфраструктура и стандарты, совместное использование данных и знаний, сетевые эффекты и совместное создание ценности, плотность и качество цифровых связей между участниками экосистемы и т.д.

Источник: составлено авторами по [45].

Таким образом, разные сферы деятельности компании рассматриваются раздельно – к примеру, предприятие или экосистема может иметь хорошо развитое производственное направление,

в котором внедрены передовые цифровые технологии, однако отставать по кадровой политике, так как работники не готовы принимать новые изменения, не имеют нужной квалификации для их эффективного использования. Именно рассмотрение этих направлений в совокупности показывает цифровую зрелость.

Видение предприятия или экосистемы по отношению к реализации возможностей цифровых технологий, их цифровой форсайт включает направления, представленные в табл. 5.

Таблица 5. Субпотенциалы цифрового форсайта предприятия или экосистемы
Table 5. Subpotentials of a digital foresight of an enterprise or ecosystem

Цифровой форсайт
1. *Цифровое видение:* общая стратегическая инициатива, объединяющая и координирующая все усилия компании по максимальному раскрытию преимуществ цифровых технологий.
2. *Миссия:* цель компании при проведении цифровой трансформации бизнес-процессов, описанная ключевыми тезисами.
3. *Целеполагание:* постановка генеральной цели и задач при проведении цифровой трансформации.
4. *Управление ценностью продуктов и услуг:* повышение предоставляемой клиенту ценности продукции за счет применения цифровых технологий, более эффективных средств аналитики и т.д.
5. *Брендирование продуктов:* формирование новых приемов и идейных посылов, связанных с цифровыми технологиями.
6. *Стратегия цифровизации / цифровой трансформации:* основополагающий документ предприятия, описывающий его текущий этап цифровой зрелости, дальнейшие направления развития и основные шаги для их реализации, необходимые проекты и источники денежных и иных ресурсов.

Источник: составлено авторами по [45].

На основе данных субпотенциалов можно сказать, что цифровой потенциал представляет собой «настоящее», т.е. текущие возможности и ресурсы предприятия, в то время как цифровой форсайт направлен в первую очередь на «будущее», отражает глобальную цель компании при проведении цифровой трансформации и шаги, необходимые для ее реализации.

4) **Определение интегрального и комплексных показателей оценки цифровой зрелости**

На основе сформированных направлений и критериев будет формироваться общий интегральный показатель цифровой зрелости предприятия.

Так, цифровую зрелость можно представить как сумму выявленных субпотенциалов цифрового потенциала и цифрового форсайта, взвешенных по силе их воздействия на процесс цифровой трансформации W:

$$W = aW_1 + bW_2, \quad (1)$$

где W – показатель, отражающий цифровую зрелость экосистемы/предприятия; W_1 – комплексный показатель, отражающий цифровой потенциал экосистемы/предприятия; W_2 – комплексный показатель, отражающий цифровой форсайт экосистемы/предприятия; a и b – вес каждой из групп факторов.

Применение весовых коэффициентов необходимо, чтобы учесть силу влияния каждой из группы факторов. Кроме того, очевидно, что для компаний каждой отрасли существует своя специфика, которую следует учитывать – где-то государство оказывает огромное влияние на рынок, жестко его контролирует, где-то компании практически полностью (насколько это возможно) зависят только от своих собственных действий.

Для каждой отдельно взятой группы факторов L будет действовать тот же принцип:

$$L = aL_1 + bL_2 + cL_3 + dL_4 + \ldots, \quad (2)$$

где L – сумма по группе факторов (например, финансовые факторы или же конкуренты); L_1, L_2, L_3, L_4 – отдельно взятые факторы в каждой из групп (например, для группы внутренних факторов «Информационно-телекоммуникационное направление» сюда относятся следующие параметры: наличие и квалификация специалистов ИТ-сферы, наличие специального оборудование, качество программного обеспечения и т.д.); a, b, c, d – вес каждого отдельно взятого фактора в зависимости от силы оказываемого им влияния на общий результат.

Как и в случае более «высокого» уровня иерархии показателя, вес позволяет учесть специфику той или иной компании, правильнее оценить силу воздействия каждого из отдельно взятых факторов.

К примеру, фактор персонала L можно представить как сумму факторов компетентности персонала L_1, его терпимости и готовности к внедрению цифровых технологий L_2, уровня трудовой дисциплины L_3 и активности персонала по внедрению рационализаторских предложений L_4, взвешенных в определенной пропорции, уникальной для предприятия.

Для оценки критериев может быть применен метод опроса или анкетирования работников рассматриваемого предприятия или же экспертной оценки самих исследователей.

5) **Интерпретация полученных результатов**

Полученное значение уровня цифровой зрелости можно будет интерпретировать, например, таким образом:

ЦЗ $\geq 0{,}75$ – очень высокий уровень цифровой зрелости;

$0{,}50 \leq$ ЦЗ $\leq 0{,}74$ – средний/высокий уровень цифровой зрелости;

$0{,}25 \leq$ ЦЗ $\leq 0{,}49$ – низкий/ниже среднего уровень цифровой зрелости;

ЦЗ $\leq 0{,}25$ – практически полное отсутствие цифровой зрелости.

Применение подобного показателя позволяет также проводить сравнение нескольких предприятий или экосистем друг с другом, что может быть полезно для выявления слабых или сильных сторон компании.

Рассмотрим применение методики на примере авиастроительной промышленной экосистемы, которая объединяет головного производителя авиатехники, поставщиков компонентов, двигателестроительное предприятие, авиакомпании, сервисные центры, разработчиков ПО для цифровых двойников и логистических операторов. Данная экосистема находится на этапе перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0, активно использует IIoT, предиктивную аналитику, цифровые двойники изделий и коллаборативных роботов в сборочных процессах, но еще не достигла уровня полноценной интеллектуальной экосистемы.

Прежде всего был оценен цифровой потенциал рассматриваемой экосистемы по 7 основным субпотенциалам, полученные значения и веса субпотенциалов, а также итоговая оценка цифровой потенциала экосистемы представлены в табл. 6.

Полученные значения субпотенциалов соответствуют особенностям данной экосистемы – высокие баллы у технологических и инновационных направлений, так как авиастроение является отраслью высоких технологий и этим направлениям уделяется особое внимание, заметно ниже получены значения – у организационно-управленческого субпотенциала из-за инерции крупных предприятий и экосистемной синергии, так как глубокая интеграция партнеров и общие стандарты данных еще находятся в стадии формирования.

Веса были распределены следующим образом:

– наибольший вес (20%) у экосистемной синергии – поскольку именно данный субпотенциал определяет переход от суммы отдельных предприятий к синергетической целостности, в которой заинтересована компания при проведении оценки;

– по 15% получили материально-техническое, инновационное, кадровое и информационное направления – как важные столпы производственной компании и экосистемы;

– по 10% получили финансово-экономическое и организационно-управленческое направления, т.к. они важны в качестве обеспечивающих направлений, но в целом оценивались как чуть менее критичные для цифровой зрелости по сравнению с технологическим и экосистемным ядром.

Таблица 6. Значения и веса субпотенциалов цифрового потенциала рассматриваемой экосистемы
Table 6. Values and weights of subpotentials of the digital potential of the ecosystem under consideration

№	Субпотенциал	Значение	Вес	Итого
1	Материально-техническое направление	0,72	15%	0,11
2	Финансово-экономическое направление	0,65	10%	0,07
3	Инновационное направление	0,8	15%	0,12
4	Организационно-управленческое направление	0,58	10%	0,06
5	Кадровая политика	0,6	15%	0,09
6	Информационное направление и ИТ-сфера	0,78	15%	0,12
7	Экосистемная синергия	0,55	20%	0,11
	Итого		100%	0,67

Источник: составлено авторами на основе данных предприятий и открытых источников.

На текущем этапе можно сделать вывод о необходимости инвестировать в развитие организационно-управленческого и экосистемного субпотенциала, так как именно по данным направлениям получены наименьшие значения.

При этом экосистемная синергия при оценке имеет наибольший вес для экосистемы, что подчеркивает важность развития данного направления.

Таким образом, на данном этапе низкий уровень взаимодействия между участниками экосистемы и неполная стандартизация данных между партнерами тормозят общий рост зрелости, несмотря на сильную технологическую базу.

Цифровой форсайт данной экосистемы представлен в табл. 7.

Таблица 7. Значения и веса субпотенциалов цифрового форсайта рассматриваемой экосистемы
Table 7. Values and weights of the subpotentials of the digital foresight of the ecosystem under consideration

	Субпотенциал	Значение (0–1)	Вес	Итого
1	Цифровое видение	0,85	25%	0,21
2	Миссия	0,75	15%	0,11
3	Целеполагание	0,8	15%	0,12
4	Управление ценностью продуктов и услуг	0,7	15%	0,11
5	Брендирование продуктов	0,6	10%	0,06
6	Стратегия цифровизации / цифровой трансформации	0,75	20%	0,15
		Общий вес:	100%	0,76

Источник: составлено авторами на основе данных предприятий и открытых источников.

Эта экосистема обладает проработанной долгосрочной стратегией цифровой трансформации, но находится на стадии активного выстраивания единого информационного пространства между участниками, что отражается на оценках:

Цифровое видение (0,85) – у головной компании и ключевых партнеров сформулирован образ «цифрового авиастроительного предприятия», подкрепленный дорожными картами внедрения цифровых двойников, предиктивной аналитики. Однако не все участники экосистемы одинаково глубоко разделяют это видение;

Миссия (0,75) – включает ценности безопасности, подключенности и устойчивости, но ее «цифровая» компонента еще недостаточно отражена во внешних коммуникациях и внутренних документах;

Целеполагание (0,8) – цифровые цели экосистемы определены в виде конкретных KPI, но не на достаточном уровне.

Управление ценностью продуктов и услуг (0,7): внедрены цифровые сервисы управления жизненным циклом изделия;

Брендирование продуктов (0,6) – цифровые продукты слабо выделены в самостоятельные бренды, продвижение ведется преимущественно под традиционными брендами авиатехники;

Стратегия цифровизации / цифровой трансформации (0,75) – существует единая стратегия цифровой трансформации экосистемы до 2030 г., охватывающая производство, логистику и послепродажное обслуживание, однако она недостаточно хорошо синхронизирована между участниками.

Итоговая оценка цифрового форсайта 0,76 означает его достаточно высокий уровень: экосистема понимает, куда двигаться и зачем, но нуждается в усилении брендирования цифровых услуг и более плотной проработки стратегий для всех участников.

Таблица 8. Интегральный показатель цифровой зрелости экосистемы
Table 8. Integral indicator of the digital maturity of the ecosystem

	Значение арифметическое	Вес
Цифровой потенциал	0,67	0,7
Цифровой форсайт	0,76	0,3
Итого цифровая зрелость	0,697	1

Источник: составлено авторами на основе данных предприятий и открытых источников.

В табл. 8 представлен итоговый показатель уровня цифровой зрелости промышленной экосистемы. В данном случае вес между коэволюционным потенциалом и форсайтом распределяется в соотношении 70/30 (%), что говорит о том, что при проведении оценки для экосистемы более важным являются ее текущие возможности, включая трудовые, денежные и иные ресурсы. Однако ее цифровой форсайт также весьма важен, поэтому имеет достаточно большой вес в 30%.

В зависимости от особенностей и целей экосистемы данное соотношение может быть изменено.

Итоговое значения цифровой зрелости рассматриваемой экосистемы 0,697 соответствует достаточно высокому интегрированному уровню цифровой зрелости. Экосистема уже не фрагментирована, обладает единой цифровой платформой и значительной долей автоматизации, но еще не достигла уровня полностью интегрированной интеллектуальной экосистемы.

Цифровой форсайт (0,76) опережает цифровой потенциал (0,67). Это означает, что стратегическое видение, целеполагание и проработанность цифровой стратегии находятся на более высоком уровне, чем текущие материально-технические, кадровые и экосистемные возможности.

Это может говорить о нахождении экосистемы на переходном этапе: образ будущего ясен, дорожная карта есть, но фактическое внедрение технологий и выстраивание взаимодействий между участниками требуют времени и инвестиций.

Заключение

Проведенное исследование позволило получить следующие научные результаты:

1. Выявлены структурные диспропорции инновационного развития промышленности Республики Крым: рост доли инновационной продукции и инвестиций в основной капитал сопровождается снижением производительности труда, что свидетельствует об экстенсивном характере роста и низкой цифровой зрелости предприятий.

2. На основе имитационного моделирования доказана эффективность применения ансамблевых методов машинного обучения для прогнозирования спроса в региональной промышленности: снижение MAPE на горизонте 4–6 недель составляет 16–21% по сравнению с традиционными методами.

3. Систематизированы ключевые технологические приоритеты цифровой трансформации для регионов с формирующейся инновационной системой: приоритетным является внедрение RPA и систем поддержки принятия решений на основе ИИ, тогда как концепции Web3 и полномасштабная роботизация на данном этапе имеют ограниченную применимость.

4. Разработана и обоснована модифицированная система сбалансированных показателей цифровой промышленной фирмы (Digital BSC), адаптированная к региональной специфике и включающая, наряду с традиционными финансовыми метриками, показатели качества данных (DQI) и инновационной восприимчивости персонала, что позволяет количественно оценить уровень цифровой зрелости предприятия.

5. Предложены понятие цифровой зрелости предприятия и экосистемы, а также подход и методика оценки цифровой зрелости на основе концептуальной рамки в виде цифрового потенциала и цифрового форсайта. На примере рассмотренной промышленной экосистемы проведена апробация разработанной методики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Breque M., De Nul L., Petridis A. (2021) *Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry*, Luxemburg: Directorate-General for Research and Innovation (European Commission). DOI: 10.2777/308407

2. Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. (2021) Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535. DOI: 10.1016/J.JMSY.2021.10.006

3. Jin W., Bai J.J. (2022) Cloud Adoption and Firm Performance: Evidence from Labor Demand. *Stanford Digital Economy Lab*. [online] Available at: https://digitaleconomy.stanford.edu/publications/cloud-adoption-and-firm [Accessed 21.04.2026]

4. Zhang C., Chen Y. (2020) A Review of Research Relevant to the Emerging Industry Trends: Industry 4.0, IoT, Blockchain, and Business Analytics. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5 (1), 165–180. DOI: 10.1142/S2424862219500192

5. Зинич А.В., Максимова С.Г., Ревякина Ю.Н. (2023) Молодежь на рынке труда: влияние цифровизации и неопределенности мира профессий. *Экономика труда*, 10 (9), 1353–1366. DOI: 10.18334/et.10.9.119190

6. Ghosh S., Hughes M., Hughes P., Hodgkinson I. (2021) Digital transformation of industrial businesses: A dynamic capability approach. *Technovation*, 113, art. no. 102414. DOI: 10.1016/j.technovation.2021.102414

7. Szabó-Szentgróti G., Végvári B., Varga J. (2021) Impact of Industry 4.0 and Digitization on Labor Market for 2030-Verification of Keynes' Prediction. *Sustainability*, 13 (14), art. no. 7703. DOI: 10.3390/su13147703

8. Borowiecki M., Pareliussen J., Glocker D., Kim E.J., Polder M., Rud I. (2021) The impact of digitalisation on productivity: Firm-level evidence from the Netherlands. *OECD Economics Department Working Papers*, art. no. 1680. DOI: 10.1787/e800ee1d-en

9. Babkin A., Glukhov V., Shkarupeta E., Kharitonova N., Barabaner H. (2021) Methodology for Assessing Industrial Ecosystem Maturity in the Framework of Digital Technology Implementation. *International Journal of Technology*, 12 (7), 1397–1406. DOI: 10.14716/IJTECH.V12I7.5390

10. Akundi A., Euresti D., Luna S., Ankobiah W., Lopes A., Edinbarough I. (2022) State of the industry 5.0 – Analysis and identification of current research trends. *Applied System Innovation*, 5 (1), art. no. 27. DOI: 10.3390/ASI5010027

11. Bessen J. (2022) *The New Goliaths: How Corporations Use Software to Dominate Industries, Kill Innovation, and Undermine Regulation*, New Haven: Yale University Press. DOI: 10.12987/9780300265026

12. Wang J., Tian Z., Sun Y. (2024) Digital Economy, Employment Structure and Labor Share. *Sustainability*, 16 (21), art. no. 9584. DOI: 10.3390/su16219584

13. Соколова Л.Г., Савченко Е.Е., Яркова С.А. (2023) Динамика показателей трудового фактора для оценки возможностей стратегического развития экономики регионов России. *Экономика труда*, 10 (10), 1503–1516. DOI: 10.18334/et.10.10.119524

14. Хабарова О.В., Яковлева Е.В. (2024) Организационно-управленческий механизм развития регионального рынка труда специалистов в условиях цифровизации экономики. *Экономика труда*, 11 (11), 1735–1746. DOI: 10.18334/et.11.11.122089

15. Карлик А.Е., Кравченко К.Н. (2022) Промышленная политика Республики Крым в контексте развития высокотехнологичных производств. *Экономические науки*, 5 (210), 124–127. DOI: 10.14451/1.210.124

16. Полищук Е.А., Павленко И.Г., Остовская А.А., Трилицкая О.Ю. (2022) Индикаторная оценка уровня развития информационной сферы Республики Крым. *Региональная экономика. Юг России*, 10 (1), 181–191. DOI: 10.15688/re.volsu.2022.1.17

17. Melnikova E. V., Bezrukikh Y. A., Yarkova S. A., Yakimova L.D., Melnikova A.A. (2021) Forming the Human Resources Potential for Innovative and Technological Development of the Region Within the Framework of the "Triple Helix" Model. In: *Current Problems and Ways of Industry Development: Equipment and Technologies* (eds. O.G. Shakirova, O.V. Bashkov, A.A. Khusainov), Cham: Springer, 373–380. DOI: 10.1007/978-3-030-69421-0_40

18. Omelchenko I., Antonova G., Danilina M., Popkov S., Botasheva L. (2021) Digitalization in the Labor Market in Russia. *SHS Web of Conferences*, 93, art. no. 01021. DOI: 10.1051/shsconf/20219301021

19. Подвербных О.Е., Самохвалова С.М., Донова Н.А., Мокин Ю.И. (2023) Формирование и реализация модели цифровой организации труда на промышленном предприятии. *Креативная экономика*, 17 (12), 4945–4964. DOI: 10.18334/ce.17.12.120027

20. Устинова О.Е. (2022) Формирование стратегии цифровой трансформации промышленных предприятий. *Вопросы инновационной экономики*, 12 (3), 1427–1442. DOI: 10.18334/vinec.12.3.115129

21. Глухов В.В., Бабкин А.В., Батукова Л.Р., Шкарупета Е.В., Махмудова Г.Н. (2024) Теоретические положения программирования стратегического развития промышленности в условиях формирования Индустрии 5.0. *π-Economy*, 17 (5), 61–87. DOI: 10.18721/JE.17504

22. Trstenjak M., Hegedić M., Tošanović N., Opetuk T., Đukić G., Cajner H. (2023) Key Enablers of Industry 5.0 – Transition from 4.0 to the New Digital and Sustainable System. In: *Manufacturing Driving Circular Economy. GCSM 2022* (ed. H. Kohl, G. Seliger, F. Dietrich), Cham: Springer, 614–621. DOI: 10.1007/978-3-031-28839-5_69

23. He M., Chand B. (2024) Industry 5.0, Future of Workforce Beyond Efficiency and Productivity. In: *Innovation, Sustainability, and Technological Megatrends in the Face of Uncertainties* (eds. A.N. Turi, P. Lekhi), Cham: Springer, 23–40. DOI: 10.1007/978-3-031-46189-7_2

24. Morandini S., Fraboni F., De Angeles M., Puzzo G., Giusino D., Pietrantoni L. (2023) The Impact of Artificial Intelligence on Workers' Skills: Upskilling and Reskilling in Organisations. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 26, 39–68. DOI: 10.28945/5078

25. Sahlab N., Kamm S., Müller T., Jazdi N., Weyrich M. (2021) Knowledge Graphs as Enhancers of Intelligent Digital Twins. *2021 4th IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems* (*ICPS*), 19–24. DOI: 10.1109/ICPS49255.2021.9468219

26. Alka T.A., Sreenivasan A., Suresh M. (2025) Entrepreneurial strategies for sustainable growth: a deep dive into cloud-native technology and its applications. *Future Business Journal*, 11, art. no. 14. DOI: 10.1186/s43093-025-00436-7

27. Кирильчук С.П., Наливайченко Е.В. (2024) Зависимость динамики промышленной модернизации от прогрессивных тенденций экономики труда. *Друкеровский вестник*, 1 (57), 71–80. DOI: 10.17213/2312-6469-2024-1-71-80

28. Наливайченко Е.В., Кирильчук С.П. (2024) Рост производительности труда с переходом к технологиям «умного производства» в промышленности. *Экономика и управление: теория и практика*, 10 (1), 82–88.

29. Яркина Н.Н., Логунова Н.А. (2023) Инвестиционная привлекательность как фактор экономической безопасности Республики Крым. *Региональные проблемы преобразования экономики*, 1 (147), 117–129. DOI: 10.26726/1812-7096-2023-1-117-129

30. Бабкин А.В., Кирильчук С.П., Наливайченко Е.В. (2026) Парадигма устойчивости промышленных экосистем в условиях новой реальности. *Экономическое возрождение России*, 87 (1), 48–64. DOI: 10.37930/1990-9780-2026-1-87-48-64

31. Белоусов Ю.В. (2021) Цифровая экономика: понятие и тенденции развития. *Вестник Института экономики Российской академии наук*, 1, 26–43. DOI: 10.24412/2073-6487-2021-1-26-43

32. Демура Н.А., Путивцева Н.П. (2021) Цифровизация: сущность и роль в развитии национальной экономики. *Научный результат. Экономические исследования*, 7 (1), 22–30. DOI: 10.18413/2409-1634-2021-7-1-0-3

33. Машевская О.В. (2020) Цифровые технологии как основа цифровой трансформации современного общества. *Вестник Полесского государственного университета. Серия общественных и гуманитарных наук*, 1, 37–44.

34. Сталиневич Т.К., Вишневецкий Д.А. (2022) Индустрия 4.0: проблемы внедрения инновационных технологий в деятельность предприятий России и стран АТР. *Новая экономика, бизнес и общество*, 901–909.

35. Розанова Н.М. (2023) Индустрия 5.0: золотой век или прыжок в темноту? *Вестник Института экономики Российской академии наук*, 6, 61–77. DOI: 10.52180/2073-6487_2023_6_61_77

36. Татаринов К.А. (2024) Особенности и возможности цифровизации компаний. *Экономическая среда*, 13 (2), С. 58–64. DOI: 10.36683/ee242.58-64

37. Кожевникова Г.В., Сольская И.Ю. (2023) Определение уникальных преимуществ компании с использованием цифровых технологий. *Экономика. Общество. Человек*, 142–152.

38. Асеева А.А. (2025) Современные тенденции развития цифровых платформ. *Социально-экономическое развитие России: проблемы, тенденции, перспективы*, 48–52.

39. Вишнягова Е.А., Соловьева И.А. (2023) Современные подходы к определению понятия промышленная экосистем. *II Всероссийская (национальная) научная конференция с международным участием «Российская наука, инновации, образование» (РОСНИО-II-2023)*, 386–395.

40. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Шкарупета Е.В., Чэнь Лэйфэй (2025) Инструментарий оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы на основе коэволюции и экосистемной синергии. *π-Economy*, 18 (4), 32–53. DOI: 10.18721/JE.18402

41. Афанасьев А.А. (2024) Оценка цифровой зрелости промышленного производства в контексте его цифровой трансформации. *Экономика, предпринимательство и право*, 14 (7), 3595–3612. DOI: 10.18334/epp.14.7.121231

42. Капустин К.К., Ильина Л.А. (2025) Совершенствование методик оценки цифровой зрелости на основе анализа конкурентных преимуществ организаций. *Естественно-гуманитарные исследования*, 2 (58), 710–716.

43. Соболев А.Д. (2025) Инструментарий оценки цифровой зрелости организации. *Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право»*, 1, 80–85. DOI: 10.35634/2412-9593-2025-35-1-80-85

44. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Шкарупета Е.В., Гаев К.Б. (2024) Методика оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и экосистемы на основе динамического коэволюционного потенциала. *π-Economy*, 17 (4), 153–178. DOI: 10.18721/JE.17410

45. Бабкин А.В., Михайлов П.А. (2024) Методика оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы на основе ее потенциала и форсайта. В книге: *Стратегическое управление цифровой трансформацией интеллектуальной экономики и промышленности в новой реальности* (под ред. А.В. Бабкина), монография, СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 748–765. DOI: 10.18720/IEP/2024.3/31

REFERENCES

1. Breque M., De Nul L., Petridis A. (2021) *Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry*, Luxemburg: Directorate-General for Research and Innovation (European Commission). DOI: 10.2777/308407

2. Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. (2021) Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535. DOI: 10.1016/J.JMSY.2021.10.006

3. Jin W., Bai J.J. (2022) Cloud Adoption and Firm Performance: Evidence from Labor Demand. *Stanford Digital Economy Lab*. [online] Available at: https://digitaleconomy.stanford.edu/publications/cloud-adoption-and-firm [Accessed 21.04.2026]

4. Zhang C., Chen Y. (2020) A Review of Research Relevant to the Emerging Industry Trends: Industry 4.0, IoT, Blockchain, and Business Analytics. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5 (1), 165–180. DOI: 10.1142/S2424862219500192

5. Zinich A.V., Maksimova S.G., Revyakina Y.N. (2023) Youth in the labor market: the impact of digitalization and the uncertainty of the professional world. *Russian Journal of Labour Economics*, 10 (9), 1353–1366. DOI: 10.18334/et.10.9.119190

6. Ghosh S., Hughes M., Hughes P., Hodgkinson I. (2021) Digital transformation of industrial businesses: A dynamic capability approach. *Technovation*, 113, art. no. 102414. DOI: 10.1016/j.technovation.2021.102414

7. Szabó-Szentgróti G., Végvári B., Varga J. (2021) Impact of Industry 4.0 and Digitization on Labor Market for 2030-Verification of Keynes' Prediction. *Sustainability*, 13 (14), art. no. 7703. DOI: 10.3390/su13147703

8. Borowiecki M., Pareliussen J., Glocker D., Kim E.J., Polder M., Rud I. (2021) The impact of digitalisation on productivity: Firm-level evidence from the Netherlands. *OECD Economics Department Working Papers*, art. no. 1680. DOI: 10.1787/e800ee1d-en

9. Babkin A., Glukhov V., Shkarupeta E., Kharitonova N., Barabaner H. (2021) Methodology for Assessing Industrial Ecosystem Maturity in the Framework of Digital Technology Implementation. *International Journal of Technology*, 12 (7), 1397–1406. DOI: 10.14716/IJTECH.V12I7.5390

10. Akundi A., Euresti D., Luna S., Ankobiah W., Lopes A., Edinbarough I. (2022) State of the industry 5.0 – Analysis and identification of current research trends. *Applied System Innovation*, 5 (1), art. no. 27. DOI: 10.3390/ASI5010027

11. Bessen J. (2022) *The New Goliaths: How Corporations Use Software to Dominate Industries, Kill Innovation, and Undermine Regulation*, New Haven: Yale University Press. DOI: 10.12987/9780300265026

12. Wang J., Tian Z., Sun Y. (2024) Digital Economy, Employment Structure and Labor Share. *Sustainability*, 16 (21), art. no. 9584. DOI: 10.3390/su16219584

13. Sokolova L.G., Savchenko E.E., Yarkova S.A. (2023) Dynamics of the labor factor indicators for assessing the possibilities of strategic economic development of the Russian regions. *Russian Journal of Labour Economics*, 10 (10), 1503–1516. DOI: 10.18334/et.10.10.119524

14. Khabarova O.V., Yakovleva E.V. (2024) Organizational and managerial mechanism for the development of the regional labor market for specialists amidst digitalization. *Russian Journal of Labour Economics*, 11 (11), 1735–1746. DOI: 10.18334/et.11.11.122089

15. Karlik A.E., Kravchenko K.N. (2022) Industrial policy of the Republic of Crimea in the context of the development of high-tech industries. *Economic Sciences*, 5 (210), 124–127. DOI: 10.14451/1.210.124

16. Polishchuk E.A., Pavlenko I.G., Ostovskaya A.A., Trilitskaya O.Yu. (2022) Index Evaluation of Informational Sphere Development in the Republic of Crimea. *Regional Economy. South of Russia*, 10 (1), 181–191. DOI: 10.15688/re.volsu.2022.1.17

17. Melnikova E.V., Bezrukikh Y.A., Yarkova S.A., Yakimova L.D., Melnikova A.A. (2021) Forming the Human Resources Potential for Innovative and Technological Development of the Region Within the Framework of the "Triple Helix" Model. In: *Current Problems and Ways of Industry Development: Equipment and Technologies* (eds. O.G. Shakirova, O.V. Bashkov, A.A. Khusainov), Cham: Springer, 373–380. DOI: 10.1007/978-3-030-69421-0_40

18. Omelchenko I., Antonova G., Danilina M., Popkov S., Botasheva L. (2021) Digitalization in the Labor Market in Russia. *SHS Web of Conferences*, 93, art. no. 01021. DOI: 10.1051/shsconf/20219301021

19. Podverbnyh O.E., Samokhvalova S.M., Donova N.A., Mokin Y.I. (2023) Formation and implementation of a digital labor organization model in an industrial company. *Creative Economy*, 17 (12), 4945–4964. DOI: 10.18334/ce.17.12.120027

20. Ustinova O.E. (2022) Digital transformation strategy for industrial enterprises. *Russian Journal of Innovation Economics*, 12 (3), 1427–1442. DOI: 10.18334/vinec.12.3.115129

21. Glukhov V.V., Babkin A.V., Batukova L.R., Shkarupeta E.V., Makhmudova G.N. (2024) Theoretical provisions of programming of strategic development of industry in the conditions of the formation of Industry 5.0. *π-Economy*, 17 (5), 61–87. DOI: 10.18721/JE.17504

22. Trstenjak M., Hegedić M., Tošanović N., Opetuk T., Đukić G., Cajner H. (2023) Key Enablers of Industry 5.0 – Transition from 4.0 to the New Digital and Sustainable System. In: *Manufacturing Driving Circular Economy. GCSM 2022* (ed. H. Kohl, G. Seliger, F. Dietrich), Cham: Springer, 614–621. DOI: 10.1007/978-3-031-28839-5_69

23. He M., Chand B. (2024) Industry 5.0, Future of Workforce Beyond Efficiency and Productivity. In: *Innovation, Sustainability, and Technological Megatrends in the Face of Uncertainties* (eds. A.N. Turi, P. Lekhi), Cham: Springer, 23–40. DOI: 10.1007/978-3-031-46189-7_2

24. Morandini S., Fraboni F., De Angeles M., Puzzo G., Giusino D., Pietrantoni L. (2023) The Impact of Artificial Intelligence on Workers' Skills: Upskilling and Reskilling in Organisations. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 26, 39–68. DOI: 10.28945/5078

25. Sahlab N., Kamm S., Müller T., Jazdi N., Weyrich M. (2021) Knowledge Graphs as Enhancers of Intelligent Digital Twins. *2021 4th IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems* (*ICPS*), 19–24. DOI: 10.1109/ICPS49255.2021.9468219

26. Alka T.A., Sreenivasan A., Suresh M. (2025) Entrepreneurial strategies for sustainable growth: a deep dive into cloud-native technology and its applications. *Future Business Journal*, 11, art. no. 14. DOI: 10.1186/s43093-025-00436-7

27. Kirilchuk S.P., Nalivaychenko E.V. (2024) Dependence of the dynamics of industrial modernization on progressive trends in the labor economy. *Drukerovskij vestnik*, 1 (57), 71–80. DOI: 10.17213/2312-6469-2024-1-71-80

28. Nalivaychenko E.V., Kirilchuk S.P. (2024) Labor productivity growth with the transition to smart manufacturing technologies in industry. *Economy and management: theory and practice*, 10 (1), 82–88.

29. Yarkina N.N., Logunova N.A. (2023) investment attractiveness as a factor of economic security of the Republic of Crimea. *Regional Problems of Economic Transformation*, 1 (147), 117–129. DOI: 10.26726/1812-7096-2023-1-117-129

30. Babkin A.V., Kirilchuk S.P., Nalivaychenko E.V. (2026) The Paradigm of Industrial Ecosystems Sustainability in the New Reality. *Economic Revival of Russia*, 87 (1), 48–64. DOI: 10.37930/1990-9780-2026-1-87-48-64

31. Belousov Yu.V. (2021) Digital economy: concept and trends of development. *Vestnik Instituta ekonomiki Rossiiskoi akademii nauk* [*Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*], 1, 26–43. DOI: 10.24412/2073-6487-2021-1-26-43

32. Demura N.A., Putivtsev N.P. (2021) Digitalization: the nature and role in the development of the economy of the country and the region. *Research Result. Economic Research*, 7 (1), 22–30. DOI: 10.18413/2409-1634-2021-7-1-0-3

33. Mashevskaya O.V. (2020) Digital technology as the foundation of digital transformation. *Bulletin of Polessky State University. Series in Social Sciences and Humanities*, 1, 37–44.

34. Stalinevich T.K., Vishnevetsky D.A. (2022) Industry 4.0: problems of introducing innovative technologies into the activities of enterprises in Russia and Asia-Pacific countries. *Novaia ekonomika, biznes i obshchestvo* [*New economy, business, and society*], 901–909.

35. Rozanova N.M. (2023) Industry 5.0: A golden age or a leap into the dark? *Vestnik Instituta ekonomiki Rossiiskoi akademii nauk* [*Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*], 6, 61–77. DOI: 10.52180/2073-6487_2023_6_61_77

36. Tatarinov K.A. (2024) Features and Opportunities of Companies Digitalization. *Economic environment*, 13 (2), 58–64. DOI: 10.36683/ee242.58-64

37. Kozhevnikova G.V., Sol'skaia I.Iu. (2023) Opredelenie unikal'nykh preimushchestv kompanii s ispol'zovaniem tsifrovykh tekhnologii [Identifying a company's unique advantages using digital technologies]. *Ekonomika. Obshchestvo. Chelovek* [*Economy. Society. Human*], 142–152.

38. Aseeva A.A. (2025) Current trends in the development of digital platforms. *Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie Rossii: problemy, tendentsii, perspektivy* [*Socioeconomic development of Russia: problems, trends, prospects*], 48–52.

39. Vishnyagova E.A., Solovyova I.A. (2023) Modern approaches to the definition of the concept of industrial ecosystem. *II Vserossiiskaia* (*natsional'naia*) *nauchnaia konferentsiia s mezhdunarodnym*

uchastiem "*Rossiiskaia nauka, innovatsii, obrazovanie*" (*ROSNIO-II-2023*) [*II All-Russian* (*National*) *Scientific Conference with International Participation* "*Russian Science, Innovation, Education*" (ROSNIO-II-2023)], 386–395.

40. Babkin A.V., Mikhailov P.A., Shkarupeta E.V., Chen Leifei (2025) A toolkit for assessing the digital maturity of an intelligent industrial ecosystem based on coevolution and ecosystem synergy. *π-Economy*, 18 (4), 32–53. DOI: 10.18721/JE.18402

41. Afanasyev A.A. (2024) Assessing the digital maturity of industrial production in the context of its digital transformation. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*, 14 (7), 3595–3612. DOI: 10.18334/epp.14.7.121231

42. Kapustin K.K., Ilyina L.A. (2025) Improving digital maturity assessment methods based on analysis of competitive advantages of organizations. *Natural-Humanitarian Research*, 2 (58), 710–716.

43. Sobolev A.D. (2025) Tools for assessing digital maturity of an organization. *Bulletin of Udmurt University. Series Economics and Law*, 1, 80–85. DOI: 10.35634/2412-9593-2025-35-1-80-85

44. Babkin A.V., Mikhailov P.A., Shkarupeta E.V., Gaev K.B. (2024) Methodology for assessing the digital maturity of an industrial enterprise and ecosystem based on dynamic coevolutionary potential. *π-Economy*, 17 (4), 153–178. DOI: 10.18721/JE.17410

45. Babkin A.V., Mikhailov P.A. (2024) Metodika otsenki tsifrovoi zrelosti promyshlennoi ekosistemy na osnove ee potentsiala i forsaita [A methodology for assessing the digital maturity of an industrial ecosystem based on its potential and foresight]. In: *Strategicheskoe upravlenie tsifrovoi transformatsiei intellektual'noi ekonomiki i promyshlennosti v novoi real'nosti* [*Strategic Management of Digital Transformation of the Intelligent Economy and Industry in the New Reality*] (ed. A.V. Babkin), monograph, St. Petersburg: POLITEKH-PRESS, 748–765. DOI: 10.18720/IEP/2024.3/31

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

ШКАРУПЕТА Елена Витальевна
E-mail: 9056591561@mail.ru
Elena V. SHKARUPETA
E-mail: 9056591561@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3644-4239

КИРИЛЬЧУК Светлана Петровна
E-mail: skir12@yandex.ru
Svetlana P. KIRILCHUK
E-mail: skir12@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6888-1981

НАЛИВАЙЧЕНКО Екатерина Владимировна
E-mail: katnaliv@yandex.ru
Ekaterina V. NALIVAYCHENKO
E-mail: katnaliv@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0578-5997

МИХАЙЛОВ Павел Александрович
E-mail: pavel-mixailov1999@yandex.ru
Pavel A. MIKHAILOV
E-mail: pavel-mixailov1999@yandex.ru

Поступила: 13.06.2026; Одобрена: 17.07.2026; Принята: 18.07.2026.
Submitted: 13.06.2026; Approved: 17.07.2026; Accepted: 18.07.2026.