

Пронин Алексей Юрьевич

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ: СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ

***Аннотация:** актуальность исследования обусловлена тотальным трендом на цифровизацию в Российской Федерации, который охватывает широкий спектр отраслей промышленности и национальной экономики.*

Целью исследования является выявление тенденций развития промышленных экосистем в условиях тотального внедрения цифровых технологий и необходимости обеспечения технологического суверенитета.

Теоретико-методологическую основу проведенного исследования составляют эмпирические (экспертных оценок, изучение производственного опыта) и теоретические (системного анализа, категориального анализа, сравнения, обобщения, принятия решений) методы.

В главе рассмотрены основные причины перехода к новому этапу развития промышленности и экономики Российской Федерации. Сформулированы основные достоинства цифровых промышленных экосистем. Описаны инструменты, обеспечивающие функционирование цифровых промышленных экосистем и приведены примеры их успешной реализации. На основе анализа публикаций отечественных ученых сформулированы принципы и предложены стратегии дальнейшего развития цифровых промышленных экосистем.

***Ключевые слова:** экосистема, промышленная экосистема, стратегии развития, промышленность, цифровая технология, цифровизация, технологический суверенитет, цифровая трансформация, индустрия 4.0, индустрия 5.0, искусственный интеллект.*

***Abstract:** the relevance of the study is due to the total trend towards digitalization in the Russian Federation, which covers a wide range of sectors of the national economy.*

The purpose of the study is to identify trends in the development of industrial ecosystems in the context of the total implementation of digital technologies and the need to ensure technological sovereignty.

The theoretical and methodological basis of the study is empirical (expert assessments, study of production experience) and theoretical (system analysis, categorical analysis, comparison, generalization, decision-making) methods.

The chapter discusses the main reasons for the transition to a new stage in the development of industry and the economy of the Russian Federation. The main advantages of digital industrial ecosystems are formulated. The tools that ensure the functioning of digital industrial ecosystems are described and examples of their successful implementation are given. Based on the analysis of publications of domestic scientists, strategies for the further development of digital industrial ecosystems are proposed.

Keywords: *ecosystem, industrial ecosystem, development strategies, industry, digital technology, digitalization, technological sovereignty, digital transformation, industry 4.0, industry 5.0, artificial intelligence.*

В настоящее время в Российской Федерации и ведущих мировых странах наметилась тенденция к устойчивому внедрению цифровых технологий в экономику. Положительные изменения экономических показателей предприятий, осуществляющих работы по цифровизации, подтверждают актуальность проведения цифровой трансформации для качественных изменений в различных сферах экономики страны [1; 2].

Проведенные исследования показывают, что цифровая трансформация промышленности в современных экономических условиях направлена на решение следующих основных задач [2–11]:

формирование цифровой промышленной экосистемы в интересах обеспечения технологического суверенитета и повышения эффективности производственных возможностей предприятий;

повышение эффективности использования научно-исследовательских и производственно-технологических ресурсов предприятия;

обеспечение гибкости и повышение эффективности производственной системы предприятия;

развитие цепочек снабжения и сокращение логистических издержек;

модернизация производственных мощностей и развитие кооперационных связей.

Вопросы развития промышленности в условиях цифровой трансформации экономики России достаточно подробно рассматриваются в публикациях отечественных ученых и аналитиков [8–10, 12–20].

Исследование влияние санкций и ограничений, вводимых разными странами против России, на процессы цифровой трансформации промышленности проведено автором работы [8]. Проанализирован уровень импортозависимости промышленности на примере используемого программного обеспечения, решений и технологий. Показано, что в условиях внешних ограничений возрастает роль промышленной политики, направленной на стабилизацию цифровой трансформации промышленности и поддержку отечественных разработок и решений. Методологической основой послужили научные публикации, нормативно-правовые документы в сфере цифровой трансформации отраслей промышленности, данные официальной статистики и экспертно-аналитические материалы по рассматриваемой тематике.

Ключевые положительные и отрицательные тенденции развития промышленного сектора экономики рассмотрены в работе [9]. Авторами обоснована необходимость использования технологических платформ для реализации промышленной политики. Сделаны выводы о целесообразности определения на базе технологических платформ «умной специализации» регионов, которая определит приоритетные виды экономической деятельности для динамичного развития всей территории.

В работе [10] предложены и систематизированы меры, направленные на поддержку промышленности в регионах Уральского федерального округа. Выявлены стратегические приоритеты развития промышленности. Предложена

концепция промышленной политики Уральского федерального округа. Установлено, что своевременно принимаемые тактические меры по развитию промышленности на федеральном и региональном уровнях позволили смягчить влияние санкций и не допустить резкого падения производства.

Особенности цифровой трансформации промышленности рассматриваются в работе [12]. Авторами проведен анализ организационной структуры инструментов поддержки цифровизации промышленности по результатам которого выделены приоритетные технологии и основные направления цифровизации производства. В заключении авторами разработаны предложения по созданию системы цифровизации промышленности России.

Результаты исследований в области цифровой трансформации промышленных бизнес-моделей приведены в работе [13]. По мнению авторов, приоритетным направлением цифровой трансформации бизнес-моделей для промышленности России является формирование цифровых бизнес-моделей платформенного типа (модель, в которой компания предоставляет платформу, объединяющую два или более взаимодействующих субъекта). Промышленные экосистемы, по мнению авторов, следует формировать путем внедрения новых цифровых технологий, автоматизации и цифровизации бизнес-процессов с учетом уровня цифровой зрелости компании и принципов цифрового развития.

Новые принципы реализации экономической политики государства в условиях реализации Индустрии 4.0 рассматриваются в работе [14]. Авторами проведен сравнительный анализ индикаторов развития промышленности в России и мире, дана оценка инновационно-технологической активности промышленных предприятий в различных секторах экономики. Обоснованы принципы и стратегии технологического развития промышленных предприятий.

Результаты исследований, отражающие новые вызовы развития экономики, промышленности и сферы услуг в условиях цифровизации, приведены в монографии [15]. Авторами подробно рассмотрены особенности цифровой трансформации промышленности в современных условиях. Приведены подробный анализ

используемых методов и инструментов моделирования, а также проблемы функционирования промышленных предприятий в условиях цифровой трансформации экономики.

Влияние цифровой экономики на развитие промышленности в России рассмотрено в работе [16]. Автором проведен анализ теоретических основ цифровой экономики, выделены ее основные компоненты и сущности цифровизации. Предложена система факторов, которые способны, по мнению автора, оказать влияние на развитие промышленности России в условиях цифровизации. Предложены варианты стратегий осуществления цифровой трансформации на типовом промышленном предприятии.

Экосистемное развитие промышленных предприятий на базе общих цифровых платформ рассмотрено в работе [17]. В работе выделены эффекты, генерируемые в результате формирования экосистем в промышленной сфере для центров экосистем (владельцев платформ). На основе проведенного авторами анализа деятельности промышленных предприятий в регионах Юга России зафиксированы «следы» цифровой экосистемы. По результатам проведенного анализа авторами сформулированы драйверы и условия экосистемной цифровой трансформации промышленных предприятий.

Особенности развития промышленности России в условиях цифровой экономики рассмотрены в работе [18]. Авторами проведен анализ тенденций и закономерностей цифровой экономики (цифровой трансформации) промышленных предприятий. Представлен литературный обзор отечественный и зарубежных публикаций, отражающий функционирование российской промышленности на современном этапе развития. В результате проведенного исследования автором сформулированы основные мероприятия, направленные на дальнейшее внедрение и использование информационно-коммуникационных и цифровых инноваций, которые позволят повысить конкурентоспособность национальной промышленности на международной арене.

Экосистемный подход к развитию Индустрии 4.0 предложен в работе [19]. Автором рассматриваются промышленные экосистемы в России и за рубежом.

Проведен анализ подходов к понятию корпоративных экосистем с акцентом на промышленную сферу с учетом передовых достижений в области цифровых инноваций.

Вопросы внедрения новых управленческих инструментов в промышленные экосистемы рассмотрены в работе [20]. Авторами статьи предложена методика для анализа и оценки эффективности промышленных экосистем. Методика позволяет проводить анализ и выявлять ключевые факторы, которые позволяют формировать эффективные промышленные экосистемы. Предложенная методика может быть положена в основу построения архитектур будущих промышленных экосистем.

На основе анализа приведенных выше публикаций можно сформулировать следующее авторское определение цифровой промышленной экосистемы [11–20]. Цифровая промышленная экосистема – система (пространство) взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов среды (цифровых платформ, приложений, устройств и др.), обеспечивающих на основе цифровых технологий повышение эффективности производства продукции. Они создают среду, в которой участники могут эффективно взаимодействовать, обмениваться информацией и совместно решать задачи, повышая общую производительность.

В этой связи стратегии развития цифровой промышленной экосистемы могут иметь следующие цели:

формирование инновационной модели рационального использования ресурсов предприятий в условиях цифровой трансформации экономики;

формирование инновационной промышленной экосистемы на базе концепции «Индустрия 4.0» (цифровизация промышленности, промышленный интернет вещей, искусственный интеллект, большие данные и др.) и концепции «Индустрии 5.0» (гибридная производственная экосистема, облачные технологии, виртуальная и дополненная реальность, распределенная обработка данных, человеко-машинный интерфейс);

формирование единого контура управления основными производственными процессами на основе цифровых технологий и цепочек «поставщик – потребитель».

Проведенный анализ показывает, что дальнейшее совершенствование цифровых промышленных экосистем позволит обеспечить:

повышение производительности за счет автоматизации процессов, оптимизации использования ресурсов, снижения издержек и минимизации человеческого фактора;

гибкость и адаптивность производства за счет быстрой адаптации к изменяющимся условиям рынка, требованиям клиентов и новым технологиям;

улучшение качества продукции и услуг за счет обеспечения непрерывного контроля на всех этапах производства;

создание цифровой среды для обмена знаниями, опытом и идеями между участниками экосистемы.

Для обеспечения функционирования цифровых промышленных экосистем и реализации стратегий их дальнейшего развития могут быть использованы следующие цифровые инструменты:

промышленный интернет вещей (IoT) – технологии, которые предполагают оснащенность датчиками и подключение к интернету всех важных для производства секторов и оборудования. Управление и контроль над процессами осуществляется в режиме реального времени;

облачные технологии – технологии, которые в настоящее время широко используются во всем мире, представляя собой систему сетевого доступа к общему объему информации, находящейся в удаленном доступе;

искусственный интеллект (AI) – технологии, которые позволяют анализировать большие объёмы данных, принимать решения и оптимизировать процессы;

большие данные (Big Data) – совокупное название инструментов и методов для обработки результатов. Огромный объем информации из постоянно растущего числа источников будет систематизирован и обработан таким образом, что

пользователь обработанных данных получит качественно новую информацию о состоянии производства;

киберфизическая система – система с интегрированными вычислительными и физическими возможностями, которая может взаимодействовать с людьми посредством новых модальностей. В киберфизической системе может быть использован искусственный интеллект для обработки информации и входящих данных для принятия решений в очень сложном, нелинейном и многостадийном производстве.

По мимо рассмотренных цифровых инструментов на стратегии дальнейшего развития промышленных экосистем оказывают влияние следующие мировые технологические тренды [21–25]:

прикладной искусственный интеллект;
доверительные технологии и цифровая идентичность;
технологии «продвинутого соединения».

Основные особенности внедрения данных технологий в промышленные экосистемы приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Особенности внедрения мировых технологических трендов
в промышленные экосистемы**

№ п/п	Технологический тренд	Направления и особенности внедрения
1	Прикладной искусственный интеллект	Развитие технологий машинного обучения и компьютерного зрения. Совершенствование технологий обеспечения кибербезопасности и конфиденциальности данных
2	Доверительные технологии и цифровая идентичность	Данные технологии позволяют организациям получить конкурентное преимущество за счёт создания, масштабирования и поддержания доверия заинтересованных сторон при использовании их данных и цифровых продуктов и услуг
3	Технологии «продвинутого соединения»	Совершенствование информационной инфраструктуры и внедрение технологий «продвинутого соединения»: оптоволоконные сети, Wi-Fi следующего поколения, например Li-Fi (Light Fidelity), сотовая связь 5G, 6G, высокочастотные платформы радиосвязи, околоземные спутники связи

В качестве успешных примеров реализации рассмотренных инструментов цифровых промышленных экосистем можно привести ведущие мировые компании:

Bosch – компания внедрила принцип «Индустрия 4.0» в свои производственные и исследовательские процессы. Решения на базе IoT интегрировали оборудование с современными аналитическими системами. На основе анализа данных была достигнута 99-процентная точность управления запасами, что позволило снизить общие затраты на логистику.

Hitachi – компания внедрила решения IoT и AI для управления производственными процессами и повышения уровня обслуживания клиентов. Создание систем мониторинга и управления привело к повышению энергоэффективности в производственных процессах, автоматизация обслуживания клиентов с помощью AI позволила снизить время реакции на запросы.

Rolls-Royce – компания применяет цифровую трансформацию в авиационной промышленности, внедряя прогрессивные технологии для оптимизации обслуживания двигателей. Rolls-Royce использует систему удалённого мониторинга, которая собирает данные с работающих двигателей и анализирует их. Система позволяет предсказывать потребности в обслуживании, улучшая надёжность продукции и уменьшая неожиданности, связанные с поломками.

В настоящее время наблюдается тенденция перехода промышленных экосистем от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0. Проведенные автором исследования позволили выделить основные отличительные особенности Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0, которые приведены на рисунке 1.



Рис. 1. Основные отличительные особенности
Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0

Основная идея Индустрии 5.0 – расширение Индустрии 4.0 с более выраженным социальным и экологическим аспектом. С одной стороны, Индустрия 5.0 ориентирована на навыки, знания и способности человека взаимодействовать с машинами или роботами, с другой стороны, на гибкость в производственных процессах и их влияние на экологию. Индустрия 5.0 представляет собой следующий этап развития цифровой промышленной экосистемы, который включает в себя использование передовых цифровых технологий, для создания более эффективных, устойчивых и персонализированных систем производства.

Индустрия 5.0 является основой инновационного развития промышленных экосистем, «ориентированной на человека и устойчивость», «когда люди и машины работают вместе, повышая эффективность промышленного производства» [23–25]. Одним из ключевых элементов Индустрии 5.0 является совместная работа человека и машины. В то время как ранее многие производственные процессы были полностью автоматизированы и не требовали участия человека, в Индустрии 5.0 производственные системы разработаны таким образом, чтобы люди и машины работали в тесном сотрудничестве. Это позволяет использовать преимущества обоих: машины могут обрабатывать большие объемы цифровых

данных и выполнять рутинные задачи, а люди могут принимать решения на основе контекста и опыта.

Индустрия 5.0 также позволяет создавать более гибкие промышленные экосистемы, такие как бионические промышленные системы, которые могут легко адаптироваться к изменяющимся требованиям рынка и потребностям потребителей. Это особенно важно в условиях конъюнктуры, когда предприятия должны быстро реагировать на новые требования и принимать быстрые решения.

С учетом рассмотренных особенностей Индустрии 5.0 можно сформулировать следующие принципы функционирования и дальнейшего развития цифровых промышленных экосистем:

устойчивость, динамичность, гибкость – экосистема способна адаптироваться к условиям внешней среды;

открытость – участники экосистемы могут вносить изменения в производственные процессы;

самоорганизация – на основе всестороннего анализа информации экосистема может самостоятельно организовывать производственный процесс;

цифровизация – широкомасштабное использование передовых цифровых технологий в процессе производства товаров и услуг;

синергия – реализация данного принципа предполагает использование современных технологий (AI, IoT, облачные технологии и т. д.) для автоматизации производственных процессов, но при этом сохраняет роль человека в управлении и контроле производства;

экологичность – реализация данного принципа предполагает использование энергоэффективных технологий с целью уменьшения экологического воздействия на окружающую среду.

Таким образом, основные принципы Индустрии 5.0 могут быть положены в основу стратегий дальнейшего развития более эффективных, устойчивых и технологически независимых цифровых промышленных экосистем. В будущем стратегии развития цифровых промышленных экосистем можно рассматривать

как комплексный подход к организации производственных процессов, основанный на интеграции цифровых технологий в всех этапах производства и управления.

Список литературы

1. Дворянкин О.А. Борьба за информационные (цифровые) платформы в интернете / О.А. Дворянкин // Национальная ассоциация ученых. – 2021. – №2 (66). – С. 25–33.

2. Койтов С.А. Цифровая платформа для производства / С.А. Койтов // Цифровая трансформация промышленности: тенденции, управление, стратегии: сборник научных статей / под ред. чл.-корр. РАН, д-р экон. наук. В.В. Акбердина. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН. 2023. – 164 с. DOI 10.17059/dti-2023-7. EDN BFOCZC

3. Сердюков Р.Д. Роль и место цифровых платформ в развитии промышленных предприятий: экосистемный подход / Р.Д. Сердюков // Естественно-гуманитарные исследования. – 2021. – №37 (5). – С. 249–255. DOI 10.24412/2309-4788-2021-537-249-255. EDN ASPPSM

4. Лукьянченко Е.Л. Преимущества использования цифровой платформы в рамках экосистемы / Е.Л. Лукьянченко // Проблемы развития современного общества: сборник научных статей 6-й Всероссийской национальной научно-практической конференции (Курск, 22 января 2021 г.). – Т. 1. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 243–246. EDN CRJXYD

5. Гелисханов И.З. Цифровые платформы в экономике: сущность, модели, тенденции развития / И.З. Гелисханов, Т.Н. Юдина, А.В. Бабкин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2018. – №6. – С. 22–36. DOI 10.18721/JE.11602. EDN YUKCIN

6. Акбердина В.В. Трансформация промышленного комплекса России в условиях цифровизации экономики / В.В. Акбердина // Известия Уральского государственного экономического университета. – 2018. – Т. 3. №19. – С. 82–99. DOI 10.29141/2073-1019-2018-19-3-8. EDN XUEHAD

7. Вертакова Ю.В. Трансформация промышленности в условиях цифровизации: тренды и особенности реализации / Ю.В. Вертакова, Ю.С. Положенцева, В.В. Масленникова // Экономика и управление. – 2021. – №27 (7). – С. 491–503.
8. Доржиева В.В. Цифровая трансформация промышленности и промышленная политика в условиях внешних ограничений / В.В. Доржиева // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – №13 (2). – С. 637–648. DOI 10.18334/vines.13.2.117692. EDN IEYDZJ
9. Погодина Т.В. Особенности реализации промышленной политики в условиях цифровизации экономики России / Т.В. Погодина, Н.М. Абдикеев // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2018. – №211 (3). – С. 210–228. EDN VPIQVS
10. Романова О.А. Тактика и стратегия развития региональных промышленных комплексов в новейших геополитических условиях / О.А. Романова, А.О. Пономарева // Региональная экономика: теория и практика. – 2023. – №21.4 (511). – С. 604–634. DOI 10.24891/re.21.4.604. EDN GGTFCM
11. Ситникова С.Е. Цифровая форма коммерциализации инноваций в вузах и пути повышения ее эффективности: международный опыт и перспективы для России / С.Е. Ситникова // Инновационное развитие экономики. – 2020. – №6 (60). – С. 61–70. EDN PTJWGP
12. Богачев Ю.С. Цифровизация как способ повышения эффективности управления промышленностью России / Ю.С. Богачев, С.Р. Бекулова // Национальная безопасность / Nota bene. – 2023. – №3. – С. 94–106. DOI 10.7256/2454-0668.2023.3.43718. EDN VYIXSL
13. Краковская И.Н. Цифровая трансформация бизнес-моделей в промышленности: эволюция и перспективы развития / И.Н. Краковская, Ю.В. Корошко, Ю.Ю. Слушкина // Информационное общество. – 2023. – №2. – С. 12–21. DOI 10.52605/16059921_2023_02_12. EDN YROKFQ
14. Положенцева Ю.С. Трансформация развития промышленного комплекса в условиях цифровой экономики / Ю.С. Положенцева, Клевцова М.Г. //

Вестник университета. – 2021. – №2. – С. 71–79. DOI 10.26425/1816-4277-2021-2-71-79. EDN RBJZPC

15. Методология развития экономики, промышленности и сферы услуг в условиях цифровизации / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. – СПб.: Политех-Пресс, 2018. – 756 с.

16. Шаблаков А.Д. Теоретические аспекты цифровой экономики. Влияние цифровой экономики на развития промышленности в России / А.Д. Шаблаков // Экономика и предпринимательство. – 2022. – №9 (146). – С. 276–283. DOI 10.34925/EIP.2022.146.9.053. EDN OXKANC

17. Никитаева А.Ю. Региональные драйверы развития цифровых экосистем промышленных предприятий / А.Ю. Никитаева, Р.Д. Сердюков, М.Н. Федосова // Региональная экономика. Юг России. – 2021. – Т. 9. №3. – С. 100–112. DOI 10.15688/re.volsu.2021.3.9. EDN QUBDTL

18. Александров А.В. Управление цифровой трансформацией в российской промышленности / А.В. Александров, Д.В. Ходос // Инновации и инвестиции. – 2023. – №12. – С. 472–475. EDN TCJMYL

19. Мезенцева Е.С. Корпоративные экосистемы в промышленности: российский и зарубежный опыт / Е.С. Мезенцева // Современные технологии управления. – 2023. – №4 (104). – С. 22–24.

20. Митяков С.Н. Формирование промышленных экосистем как инструмент антикризисного управления / С.Н. Митяков, Е.С. Митяков // Мир новой экономики. – 2024. – Т. 18. №3. – С. 47–62. DOI 10.26794/2220-6469-2024-18-3-47-62. EDN DESYTA

21. Индустрия 5.0: концепция, формирование и развитие / А.В. Бабкин, А.А. Федоров, И.В. Либерман, П.М. Клачек // Экономика промышленности. – 2021. – №4. – С. 375–395.

22. Симченко Н.А. Социальные ценности в условиях индустрии 5.0 / Н.А. Симченко, С.Ю. Цехла // Цифровая трансформация промышленности: тенденции, управление, стратегии: сборник научных статей / под ред. чл.-корр. РАН, д-

р экон. наук. В.В. Акбердина. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2023. – 164 с. DOI 10.17059/dti-2023-9. EDN YLXNKR

23. Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. Industry 4.0 and Industry 5.0-Inception, conception and perception. Journal of Manufacturing Systems. 2021. 61. Pp. 530–535. DOI 10.1016/j.jmsy.2021.10.006. EDN YNXFNP

24. Ordieres-Mere J., Gutierrez M., Villalba-Diez J. Toward the industry 5.0 paradigm: Increasing value creation through the robust integration of humans and machine // Computers in Industry. 2023. 150. Pp. 194–103.

25. Nahavandi S. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution // Sustainability. 2019. 11(16), p. 4371. DOI 10.3390/su11164371. EDN DIUQCT

Пронин Алексей Юрьевич – канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия.
