

Научная статья

УДК 330.322.012

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18402>

EDN: <https://elibrary/ICAXWK>



ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОЦЕНКИ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОЭВОЛЮЦИИ И ЭКОСИСТЕМНОЙ СИНЕРГИИ

А.В. Бабкин, П.А. Михайлов , Е.В. Шкарупета , Чэнь Лэйфэй

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

 pavel-mixailov1999@yandex.ru

Аннотация. В условиях повсеместной цифровизации и цифровой трансформации промышленности возрастает потребность в комплексных методах оценки цифровой зрелости не только отдельных предприятий, но и полноценных интеллектуальных промышленных экосистем. Несмотря на наличие различных методик оценки цифровой зрелости для компаний и предприятий, данная тематика еще только развивается. Более того, подходы к анализу полноценных экосистем остаются достаточно фрагментарными и часто не учитывают важные аспекты их функционирования — например, синергетические эффекты, возникающие за счет применения экосистемных форматов, а также коэволюцию между участниками экосистемы, означающую необходимость согласованного и взаимосвязанного развития между всеми участниками для достижения максимальных результатов. Таким образом, в качестве объекта исследования рассматриваются интеллектуальные промышленные экосистемы, функционирующие на основе коэволюции и экосистемной синергии. Предметом исследования является цифровая зрелость интеллектуальной промышленной экосистемы, функционирующей на основе коэволюции и экосистемной синергии. Цель исследования заключается в разработке научно-методического инструментария оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы, функционирующей на основе коэволюции и экосистемной синергии, которые отражают системные свойства связности, взаимообусловленное развитие элементов и обеспечение взаимовыгодного сотрудничества акторов экосистемы. В рамках исследования уточнены понятия «интеллектуальная промышленная экосистема» и «цифровая зрелость»; рассмотрено современное состояние предметной области цифровой экономики, цифровизации, цифровых технологий; предложен комплексный научно-методический подход для оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы, который позволяет оценивать цифровой коэволюционный потенциал, учитывающий особенности синергетических эффектов экосистемы, и цифровой форсайт промышленных экосистем; на основе предложенного подхода разработана методика оценки цифровой зрелости, интегрирующая как анализ текущих возможностей экосистемы (коэволюционный потенциал), так и перспективы ее развития (цифровой форсайт). Ключевыми особенностями исследования являются учет эффекта коэволюции в экосистемных форматах — адаптации участников к совместному развитию в цифровой среде, а также оценка синергии между ними — дополнительных эффектов от взаимодействия предприятий в рамках экосистемы.

Ключевые слова: интеллектуальная промышленная экосистема, цифровая зрелость, коэволюция, синергия, промышленный симбиоз

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта 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: 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. П-Economy, 18 (4), 32–53. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18402>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18402>

A TOOLKIT FOR ASSESSING THE DIGITAL MATURITY OF AN INTELLIGENT INDUSTRIAL ECOSYSTEM BASED ON COEVOLUTION AND ECOSYSTEM SYNERGY

A.V. Babkin, P.A. Mikhailov , E.V. Shkarupeta , Chen Leifei

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

 pavel-mixailov1999@yandex.ru

Abstract. In the context of widespread digitalization and digital transformation of industry, there is a growing need for comprehensive methods for assessing the digital maturity of not only individual enterprises, but also full-fledged intelligent industrial ecosystems. Despite the existence of various methods for assessing digital maturity for companies and enterprises, this topic is still developing. Moreover, approaches to the analysis of full-fledged ecosystems remain quite fragmented and often do not take into account important aspects of their functioning – for example, synergistic effects arising from the use of ecosystem formats, as well as co-evolution between ecosystem participants, which means the need for coordinated and interconnected development between all participants to achieve maximum results. Thus, intelligent industrial ecosystems operating on the basis of co-evolution and ecosystem synergy are considered as the object of research. The subject of the study is the digital maturity of an intelligent industrial ecosystem operating on the basis of co-evolution and ecosystem synergy. The objective of the study is to develop scientific and methodological tools for assessing the digital maturity of an intelligent industrial ecosystem operating on the basis of coevolution and ecosystem synergy, which reflect the systemic properties of connectivity, interdependent development of elements and ensuring mutually beneficial cooperation of ecosystem actors. The study clarified the concepts of “intelligent industrial ecosystem” and “digital maturity”; considered the current state of the subject area of the digital economy, digitalization, digital technologies; proposed a comprehensive scientific and methodological approach to assessing the digital maturity of an intelligent industrial ecosystem, which allows assessing the digital coevolutionary potential, taking into account the features of the synergistic effects of the ecosystem, and digital foresight of industrial ecosystems; based on the proposed approach, a methodology for assessing digital maturity was developed that integrates both the analysis of the current capabilities of the ecosystem (coevolutionary potential) and the prospects for its development (digital foresight). The key features of the study are taking into account the effect of co-evolution in ecosystem formats – the adaptation of participants to joint development in the digital environment, as well as the assessment of synergy between them – additional effects from the interaction of enterprises within the ecosystem.

Keywords: intellectual industrial ecosystem, digital maturity, coevolution, synergy, industrial symbiosis

Acknowledgements: The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 25-18-00978 “Strategic management of intellectual maturity of industrial ecosystems in the context of data economy: Methodology, framework, tools”. Available online: <https://rscf.ru/project/25-18-00978>.

Citation: 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. *П-Еconomy*, 18 (4), 32–53. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18402>

Введение

В современной цифровой экономике концепции Индустрии 4.0/5.0 задают новые векторы развития высокотехнологичной промышленности. Если Индустрия 4.0 фокусируется на автоматизации и минимизации человеческого фактора, то Индустрия 5.0 делает шаг вперед, предлагая модель синергии между людьми и интеллектуальными машинами. Таким образом, возрастает ценность человеческого интеллекта, который не выступает как дополнение к техническим устройствам, а является важнейшим компонентом производственного процесса. Все это создает основу для персонализированного производства, устойчивого развития и креативной экономики [1–7].

Более того, в научной дискуссии уже начинают обсуждаться основы будущей Индустрии 6.0, где технологии полностью интегрируются с биологией, сознанием и окружающей средой, открывая новые горизонты за счет квантовых вычислений и биоинженерии [8–10].

Таким образом, в современных условиях особую актуальность приобретает задача разработки инструментария, позволяющего количественно измерить результаты цифровизации отдельных бизнес-процессов или полноценной цифровой трансформации промышленных предприятий и экосистем.

Литературный обзор

В современной экономике цифровые технологии превратились в важнейший фактор развития как для отдельных компаний и предприятий, так и на уровне целых государств.

Цифровизация и цифровая трансформация создают новые условия и возможности для роста эффективности и конкурентоспособности предприятий. Цифровые технологии позволяют им оптимизировать свои производственные процессы, сокращать издержки, повышать производительность. На их основе появляются новые бизнес-модели в виде цифровых и промышленных платформ и экосистем, которые позволяют устранить многие барьеры, а также создают возможности для выхода на новые рынки. Активное применение средства аналитики позволяет повысить качество проводимых прогнозов, лучше понимать портрет своих потребителей, быстрее реагировать на изменения рынка [11, 12].

На уровне государств применение цифровых технологий становится основой для повышения эффективности государственного управления, а также качества жизни граждан. Одним из проявлений подобных преимуществ являются создание и развитие цифровых государственных платформ, значительно упрощающих бюрократические барьеры для простых граждан. Не менее важными направлениями развития оказываются национальные программы цифровизации, направленные на развитие высокотехнологичных и иных направлений [13, 14].

Например, в России с 2018 по 2024 год действовала национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», направленная на внедрение цифровых технологий в экономике и социальной сфере, создание условий для высокотехнологичного бизнеса, повышение конкурентоспособности страны на глобальном рынке, укрепление национальной безопасности и повышение качества жизни граждан¹.

Развитие цифровых технологий сегодня является важнейшим условием устойчивого развития как на уровне отдельных предприятий, где необходима постоянная адаптация к новым условиям рынка, так и для государств в целом, где основным фокусом является цифровое развитие инфраструктуры, сферы образования, нормативного регулирования.

Тематика цифровых технологий и цифровой экономики в своем современном виде зародилась относительно недавно.

¹ Минцифры (2024) *Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»*. [online] Available at: <https://digital.gov.ru/target/naczionalnaya-programma-czifrovaya-ekonomika-rossijskoj-federaczii/> [Accessed 5.08.2025]. (in Russian).



Так, одним из ключевых этапов становления данной темы является 2015 год, когда в рамках Всемирного экономического форума цифровизация была официально признана ключевым драйвером Четвертой промышленной революции. Цифровая экономика была определена как система, где данные становятся новым фактором производства наравне с более традиционными факторами, заложены принципы ответственного использования искусственного интеллекта (ИИ).

С 2017 года Европейская комиссия приняла программу «Digitising European Industry» как ответ на вызовы Четвертой промышленной революции. Ключевым направлениями для рассмотрения программы являлись ускорения внедрения цифровых технологий (промышленный интернет вещей, ИИ, большие данные, облачные вычисления и т.д.), поддержка малых и средних предприятий, стремящихся проводить цифровую трансформацию, а также изучение разрывов в уровне цифрового развития между странами [16].

Дальнейшим развитием данной темы стал 2019 год, где на саммите G20 в Осаке лидеры «Большой двадцатки» впервые приняли международные принципы цифровой экономики в качестве попытки примирить и объединить подходы разных стран к развитию и правовому регулированию вопросов цифровизации и цифровой экономики. Это стало основой для принятий ряда последующих соглашений, регулирующих данную сферу [17].

Не меньший вклад в развитие тематики цифровых технологий, цифровой экономики, цифровых технологий внесли отдельные ученые, чьи работы заложили теоретические основы и ключевые концепции для дальнейших исследований. Их идеи в том числе нашли практическое применение в бизнесе и государственном управлении.

Так, в рамках статьи [18] рассматриваются различия в подходах к определению цифровизации как процесса внедрения цифровых технологий в разные бизнес-процессы, использования цифровых ресурсов для улучшения работы организации, общего проникновения цифровых технологий в разных сферах жизни общества.

Формируется подход к определению цифровой трансформации как более широкого в сравнении с цифровизацией внедрения цифровых технологий в разные процессы работы предприятия: «Цифровая трансформация бизнеса — это переход от традиционной системы управления предприятием на инновационную, на основе внедрения релевантных информационно-коммуникационных технологий в деятельность предприятия, направленных на преобразование бизнеса и/или его трансформацию в цифровую форму для получения и/или удержания конкурентных преимуществ в современном обществе» [18].

В статьях [19, 20] рассматривается определение цифровой экономики как системы, в которой ключевыми факторами производства, распределения и потребления становятся цифровые данные и технологии. Подчеркиваются ее роль в преобразовании традиционных отраслей, создании новых рынков, а также ключевые особенности в виде удешевления и повышения качества работы с цифровыми данными, снижения стоимости и упрощения взаимодействия между участниками рынка, создания новых форматов взаимодействия между участниками рынка.

Ряд статей, таких как [21, 22], посвящены изучению преимуществ конкретных цифровых технологий на практике.

Так, блокчейн (Blockchain) представляет собой базу данных, содержащую информацию о действиях ее участников в виде «цепочки блоков», где каждый пользователь подтверждает истинность информации от других участников. Это снижает риск недобросовестной работы с информацией, что крайне актуально для банковской сферы.

Цифровой двойник (Digital Twin) — это виртуальная копия физического объекта, процесса или системы, которая создается при помощи данных, полученных с датчиков, IoT-устройств и математических моделей, и в виртуальном времени отражает состояние своего «близнеца». Это позволяет тестировать различные сценарии, проводить исследования без угрозы для реального объекта.

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) представляет собой сеть физических устройств, которые оснащены специальными датчиками и программами, подключены к интернету и объединены в единую сеть, где они могут собирать, передавать и анализировать данные и способны взаимодействовать друг с другом без участия человека.

На основе цифровых технологий формируются новые, более эффективные бизнес-модели, позволяющие в большей степени использовать преимущества цифровых технологий. Одним из проявлений являются цифровые платформы, интегрирующие производителей, потребителей, операторов платформ и других участников рынка в цифровом пространстве. Они создают принципиально новые рыночные ниши и обеспечивают конкурентные преимущества для всех участников цифрового взаимодействия. Тем не менее их развитие все еще сопровождается рядом трудностей — начиная с регуляторных ограничений и заканчивая ограниченностью денежных, трудовых и иных ресурсов предприятий, внедряющих новые модели [23, 24].

На наших глазах формируется новая реальность, где технологические гиганты, такие как Amazon, Alibaba, Яндекс, VK, Сбер и др., используя платформенные решения, выстраивают полноценные цифровые экосистемы, постепенно расширяя свое влияние на смежные отрасли. Этот тренд требует кардинальной трансформации подходов со стороны как государственных институтов, так и самих предприятий в соответствии с новыми условиями, где крайне важны пользовательская база, контроль и анализ данных, взаимодействия между участниками.

Более того, несмотря на наличие ряда методик оценки цифровой зрелости для отдельных компаний и предприятий, они все еще находятся на стадии формирования и развития, а подходы к анализу интеллектуальных промышленных экосистем остаются фрагментарными. Помимо прочего, существующие модели, как правило, не учитывают взаимовлияние участников экосистемы, а также преимущества от синергии в экосистемных форматах.

Все это является подтверждением актуальности проводимого исследования в области формирования инструментария, позволяющего оценить уровень цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы с точки зрения объема и качества внедряемых цифровых технологий. Исходя из этого сформированы соответствующие объект, предмет, цель и задачи исследования.

В качестве *объекта исследования* рассматриваются интеллектуальные промышленные экосистемы, функционирующие на основе коэволюции и экосистемной синергии.

Предметом исследования является цифровая зрелость интеллектуальной промышленной экосистемы, функционирующей на основе коэволюции и экосистемной синергии.

Цель исследования заключается в разработке научно-методического инструментария оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы, функционирующей на основе коэволюции и экосистемной синергии, которые отражают системные свойства связности, взаимообусловленное развитие элементов и обеспечение взаимовыгодного сотрудничества акторов экосистемы.

Инструментарий включает в свой состав комплексный экосистемный подход, иерархическую систему показателей оценки и методику оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы.

Для достижения цели выделим основные *задачи исследования*:

1. Рассмотреть современное состояние предметной области цифровой экономики, цифровизации, цифровых технологий, а также понятие, особенности и преимущества интеллектуальных промышленных экосистем.
2. Уточнить и систематизировать терминологический аппарат, отражающий ключевые понятия «интеллектуальная промышленная экосистема» и «цифровая зрелость».
3. Предложить комплексный научно-методический подход для оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы, который позволяет оценивать цифровой



коэволюционный потенциал, учитывающий особенности синергетических эффектов экосистемы, и цифровой форсайт промышленных экосистем.

4. На основе предложенного подхода разработать методику оценки цифровой зрелости, интегрирующую анализ как текущих возможностей экосистемы (коэволюционный потенциал), так и перспективы ее развития (цифровой форсайт). Необходимо провести апробацию разработанной методики на примере проведенных расчетов для конкретной промышленной экосистемы.

Методы и материалы исследования

Методологическая база исследования включала комплекс аналитических подходов, применяемых на различных этапах работы. На начальной стадии проводился системный сравнительный анализ с использованием библиографических методов, а также осуществлялось сопоставление российских и международных научных разработок, теоретических концепций и эмпирических данных из различных источников.

При изучении аспектов цифровизации и технологической трансформации промышленного сектора были задействованы сравнительные оценки динамики цифрового развития отдельных производственных предприятий и промышленных экосистем в целом.

Для комплексной оценки уровня цифровой зрелости и технологического потенциала субъектов исследования применялись методы иерархического объединения интегральных показателей.

Информационную основу работы составили открытые электронные ресурсы, официальные статистические материалы, научные публикации и отраслевые отчеты, данные о развитии российских промышленных предприятий и экосистем.

Результаты исследований и их обсуждение

Понятие и особенности интеллектуальной промышленной экосистемы

Интеллектуальная промышленная экосистема в широком смысле слова представляет собой сложный механизм взаимодействия между различными экономическими субъектами, включая производителей, государственные институты, научно-инновационные организации и потребителей, основанный на использовании в ее деятельности интеллектуальных методов, цифровых технологий, систем поддержки принимаемых решений, технологий ИИ. Ее ключевая функция заключается в интеграции ресурсов участников — технологических решений, экспертных знаний и инфраструктурных возможностей — с целью достижения синергетического эффекта. Такой формат объединения способствует ускоренному развитию предприятий-участников, обеспечивает их устойчивость на рынке, укрепляет их конкурентные позиции, позволяет объединить опыт и сильные стороны участников, предоставляет возможности для выхода на новые рынки [25, 26].

Интеллектуальные промышленные экосистемы — это качественно новый уровень организации производственных систем, принципиально отличающийся от простой совокупности отдельных предприятий. В таких экосистемах формируется целостный организм, где все участники (производители, поставщики, научные центры и другие стейкхолдеры) взаимосвязаны и вносят свой вклад в достижение общих стратегических целей, недостижимых для отдельно взятых предприятий.

По своей сути интеллектуальные промышленные экосистемы представляют собой развитие формата промышленных кластеров, где на первый план выходят взаимовыгодные связи между участниками. Особенностью таких систем является интенсивный обмен не только традиционными ресурсами, но и побочными продуктами производства, техническими и иными знаниями, технологическими решениями и различной информацией. Такой комплексный обмен создает синергетический эффект, позволяющий одновременно решать задачи устойчивого развития и повышения экономической эффективности всех участников системы [27, 28].

Интеллектуальная промышленная экосистема обладает четырьмя ключевыми отличиями от традиционного промышленного кластера. Во-первых, она не требует географической концентрации участников — благодаря цифровым технологиям предприятия могут эффективно взаимодействовать, находясь в разных регионах или даже странах, что устраняет необходимость в территориальной близости, характерную для кластеров. Во-вторых, экосистема преодолевает отраслевые границы, объединяя участников из различных секторов экономики, тогда как кластеры обычно фокусируются на одной специализированной отрасли. В-третьих, экосистемный подход делает акцент на принципах устойчивого развития и экологичности производства, что часто остается второстепенным или вообще не рассматривается для кластерных моделей. В-четвертых, деятельность и развитие экосистемы осуществляется на основе принятия интеллектуальных (оптимальных) решений.

Таким образом, можно выделить следующие особенности экосистемного формата:

- целостность и взаимозависимость участников;
- совместное использование всех видов ресурсов (материальных, интеллектуальных, информационных);
- ориентацию на достижение синергетического эффекта;
- акцент на устойчивость и эффективность всей системы;
- эволюцию от кластерной модели к экосистемному подходу.

Все это позволяет преодолеть ограничения традиционных производственных моделей и создать принципиально новые возможности для инновационного развития промышленности.

Интеллектуальные промышленные экосистемы открывают качественно новые возможности для взаимодействия, значительно превосходящие потенциал традиционных кластерных структур. Ключевые преимущества данной модели включают в себя следующее [29–31]:

- 1) экономическую эффективность:
 - оптимизацию производственных затрат благодаря совместному использованию активов;
 - синергию от объединения инфраструктуры;
 - реализацию эффекта масштаба;
 - оптимизацию логистических цепочек;
- 2) инновационный потенциал:
 - общий доступ к знаниям и технологиям;
 - интеграцию с исследовательскими центрами;
 - партнерство с инновационными стартапами;
- 3) экологическую устойчивость:
 - внедрение циклических производственных моделей;
 - эффективную утилизацию отходов;
 - рациональное ресурсопотребление;
- 4) рыночную адаптивность и устойчивость к кризисам:
 - разработку уникальных продуктовых решений;
 - освоение новых рыночных ниш;
 - распределение рисков между участниками;

и многое другое.

Сущность экосистемного подхода

Совместная работа в рамках экосистемы открывает перед участниками широкие перспективы благодаря синергии, совместной реализации стратегических задач и углублению партнерских связей. Интеграция цифровых решений, составляющих технологическую основу таких объединений, значительно усиливает конкурентные преимущества предприятий — от внедрения передовых аналитических инструментов (включая промышленный интеллект вещей и большие базы данных (Big Data)) до оптимизации управления рисками за счет объединенного рыночного опыта всех участников.

Экосистемный подход демонстрирует свою эффективность как для высокотехнологичных цифровых компаний, так и для представителей более традиционных секторов экономики. В текущих геоэкономических условиях российские экосистемы проявляют особую динамику, концентрируясь на трех стратегических направлениях:

- 1) на освоении новых рыночных ниш;
- 2) на развитии отечественных технологических решений;
- 3) на расширении внутренней пользовательской базы.

Современные экосистемы демонстрируют разнонаправленные стратегии развития. Например, VK сделала ставку на медийный сегмент, тогда как Яндекс реализует диверсифицированный подход, охватывая множество рыночных ниш — от поисковых технологий до сервисов доставки, питания и транспортных услуг.

Эволюция экосистем предполагает постоянную оптимизацию бизнес-портфеля. Яркий пример — решение Яндекса о передаче медийных активов (Новости, Дзен) VK для концентрации на технологических разработках. Это отражает общий тренд на специализацию и фокусировку ключевых компетенций.

Успешное развитие экосистемы предполагает баланс между:

- бизнес-диверсификацией и специализацией;
- инновационностью и устойчивостью;
- краткосрочной эффективностью и долгосрочными целями.

Важной характеристикой интеллектуальной промышленной экосистемы является принцип коэволюции, который означает необходимость согласованного и взаимосвязанного развития всех ее участников. Этот принцип подразумевает, что все они (предприятия, поставщики, научные центры и т.д.) развиваются взаимозависимо, изменения происходят на многих уровнях экосистемы одновременно, но при этом развитие ее отдельных элементов синхронизировано с ее общими целями.

В контексте промышленных экосистем коэволюция проявляется как процесс взаимной адаптации участников, при котором происходит согласованная трансформация их бизнес-процессов и ресурсной базы в ответ на внешние вызовы и внутренние потребности развития. Такой подход, основанный на принципах взаимовыгодного партнерства, позволяет достичь значительного синергетического эффекта и существенно повысить устойчивость всей системы в долгосрочной перспективе [32–34].

Ключевым элементом данной модели выступают симбиотические отношения между участниками, характеризующиеся следующими особенностями:

- экономической взаимозависимостью между участниками экосистемы;
- эффективным обменом материальными и иными ресурсами;
- интенсивным информационным взаимодействием участников экосистемы;
- обменом опытом, навыками, технологиями между участниками экосистемы.

Тем не менее все еще остается вопрос, каким образом участники экосистемы могут оценить эффективность проведения цифровой трансформации, имеющиеся ресурсы компании, качество взаимодействия между участниками, возможные точки дальнейшего роста?

Несмотря на очевидные преимущества экосистемного подхода, перед участниками по-прежнему стоят важные вопросы оценки:

- эффективности цифровизации и цифровой трансформации: Как измерить реальную отдачу от внедренных цифровых решений? Какие показатели наиболее точно отражают прогресс трансформации?
- ресурсного потенциала: Какими возможностями обладает компания для внедрения цифровых решений?
- качества кооперации: По каким критериям можно измерить эффективность взаимодействия между партнерами? Как можно оценить синергетический эффект?

• перспектив развития: Как выявить наиболее перспективные направления для дальнейшего роста? Какие методы стратегического анализа применимы в условиях экосистемы?

Эти вопросы требуют разработки комплексной методики оценки, сочетающей количественные метрики, качественные показатели и дополнительные параметры.

Решение данных задач позволит участникам экосистемы:

- оптимизировать процесс цифровой трансформации;
- более эффективно распределять свои ресурсы;
- выявить узкие места;
- укрепить партнерские связи;
- более точно определять стратегические приоритеты развития.

Цифровая зрелость экосистемы

Одним из решений данной проблемы является проведение комплексной оценки уровня цифровой зрелости промышленной экосистемы, которая позволяет измерить прогресс цифровой трансформации предприятий-участников за конкретный временной период.

Таким образом, мы получаем оценки цифровой зрелости как для отдельных предприятий, входящих в экосистему, так и для экосистемы в целом с учетом свойств промышленного симбиоза, коэволюции, синергии и иных факторов.

На практике возможна ситуация, когда некоторые предприятия экосистемы имеют высокий уровень цифровой зрелости. Но в то же время часть важных для экосистемы предприятий сильно отстает с точки зрения своего цифрового развития, не имеет достаточно ресурсов или знаний для дальнейшего развития, или же предприятия относительно плохо взаимодействуют между собой, не до конца используют преимущества цифровых технологий.

Оценка цифровой зрелости для экосистемы направлена на то, чтобы выявить данные особенности и сделать соответствующие выводы по возможностям дальнейшего развития экосистемы.

Под *цифровой зрелостью экосистемы* будем 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.

Представленный подход (концепция) позволяет рассматривать цифровую зрелость как комплексную оценку экосистемы, отражающую степень интеграции цифровых технологий в деятельность участников и текущее состояние технологического развития системы в целом. Это позволяет модифицировать критерии оценки под специфику конкретной экосистемы, обеспечивать базу для сравнительного анализа различных экосистем, применять методику к экосистемам любого формата и отраслевой принадлежности.

В рамках исследования цифровой зрелости экосистем применяется комплексный подход, рассматривающий данный показатель как интегральную характеристику, отражающую одновременно текущее состояние цифровой трансформации и потенциал дальнейшего развития. Методология основана на трех ключевых принципах: во-первых, цифровая зрелость оценивается и как степень внедрения цифровых технологий в деятельность экосистемы, и как способность экосистемы к стратегическому развитию; во-вторых, она обеспечивает возможность количественно измерять уровень цифровизации бизнес-процессов и динамику формирования цифровой среды; в-третьих, она позволяет выразить качественные изменения через интегральные количественные показатели.

Практическое применение данной методологии демонстрирует широкий диапазон возможных состояний: от экосистем с нулевым уровнем зрелости, где практически полностью отсутствуют цифровые технологии, до высокоразвитых систем, осуществивших полную цифровую



трансформацию бизнес-моделей. Такой разброс показателей напрямую связан с конкурентными преимуществами участников экосистемы — чем выше уровень цифровой зрелости, тем значительнее эффективность работы экосистемы и потенциал ее дальнейшего развития.

Методика оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы

Рассмотрим методику оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы на основе изложенного подхода (концепции).

В рамках методики предположим, что цифровая зрелость как интегральный показатель объединяет два ключевых компонента:

1) цифровой коэволюционный потенциал (W_1) — отражающий существующие технологические и организационные возможности предприятий, входящих в экосистему, а также потенциал экосистемной синергии;

2) цифровой форсайт (W_2) — отражающий стратегическое видение и планирование цифрового развития экосистемы.

Математически данную взаимосвязь представим в виде выражения:

$$W = \alpha W_1 + \beta W_2, \quad (1)$$

где W — интегральный показатель цифровой зрелости; α, β — весовые коэффициенты, отражающие относительную значимость компонентов, при этом $\alpha + \beta = 1$.

Как правило, цифровой потенциал W_1 будет иметь больший вес в сравнении с форсайтом, потому что невозможно проводить изменения без материальной базы, денежных и трудовых ресурсов и т.д. Тем не менее это не умаляет важности проработки стратегии цифрового развития для эффективного проведения изменений.

Цифровой коэволюционный потенциал включает несколько субпотенциалов. Для каждого из субпотенциалов (назовем его L_n) цифрового коэволюционного потенциала или цифрового форсайта действует такой же принцип оценивания:

$$L = \gamma_1 L_1 + \gamma_2 L_2 + \gamma_3 L_3 + \dots + \gamma_n L_n, \quad (2)$$

где L — цифровой коэволюционный потенциал или потенциал форсайта; $L_1 \dots L_n$ — отдельно взятые показатели для оценки субпотенциалов; $\gamma_1 \dots \gamma_n$ — весовые коэффициенты субпотенциалов.

Для получения значений показателей могут использоваться анкетирование работников и специалистов экосистемы, метод опроса или же экспертная оценка самих исследователей, применяющих методику оценки.

Потенциал экосистемной синергии представляет собой дополнительный синергетический потенциал оценки цифрового коэволюционного потенциала, который позволяет сделать оценку более полной, релевантной и точной.

Это связано с тем, что технологии в экосистеме сами по себе не равняются ценности. Их реальная отдача проявляется только во взаимодействии участников. Поэтому даже если предприятия в рамках экосистемы по отдельности имеют отличные показатели с точки зрения цифровой зрелости, в рамках единой экосистемы они могут не так эффективно взаимодействовать между собой, что скажется на итоговом качестве работы единой экосистемы.

Проведенные авторами исследования позволили интерпретировать значения индекса цифровой зрелости по шкале от 0 до 1 (табл. 1).

Предложенный подход позволяет рассматривать текущие возможности промышленной экосистемы в плане развития цифровых технологий и способности к их эффективному внедрению и применению, включая уровень коэволюции и синергии взаимодействия участников, а также обеспечивает возможности для проведения сравнительного анализа с другими экосистемами.

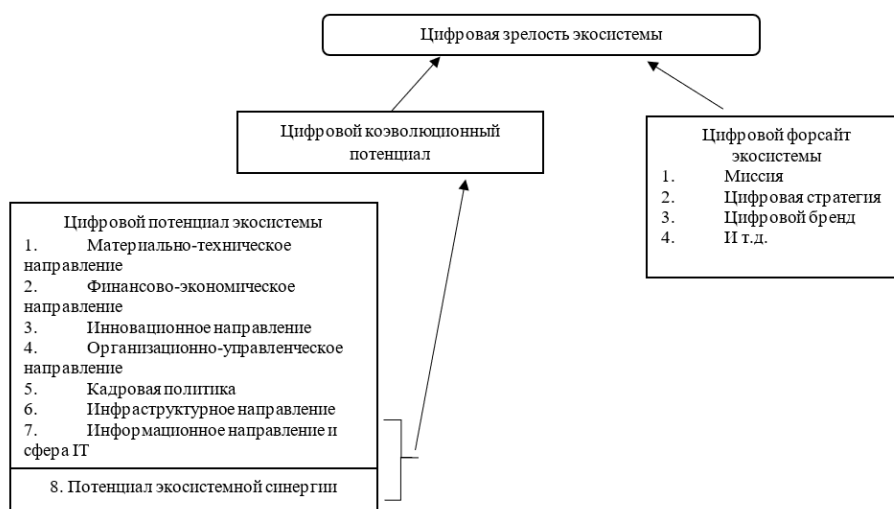


Рис. 1. Структура цифровой зрелости промышленной экосистемы

Fig. 1. The structure of the digital maturity of the industrial ecosystem

Таблица 1. Уровни цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы

Table 1. Levels of digital maturity of the intelligent industrial ecosystem

Диапазон индекса цифровой зрелости	Уровень цифровой зрелости	Характеристика уровня
0,75–1,00	Высокий	Полноценная цифровая экосистема с автоматизированными процессами
0,50–0,74	Выше среднего	Частичная цифровизация с потенциалом дальнейшего развития
0,25–0,49	Средний	Ограниченное использование цифровых технологий
0,00–0,24	Низкий	Преобладание традиционных неавтоматизированных процессов

С учетом изложенного, в общем виде цифровую зрелость промышленной экосистемы можно представить следующим образом (рис. 1).

Методика оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы позволяет учитывать:

- *цифровой потенциал* — текущие технологические и организационные возможности предприятий, входящих в экосистему;
- *цифровой коэволюционный потенциал* — цифровой потенциал с учетом преимуществ коэволюции и синергии от учета экосистемного эффекта;
- *цифровой форсайт* — стратегические перспективы развития экосистемы.

При этом оценка осуществляется по отдельным направлениям деятельности, что выявляет возможные дисбалансы (например, между уровнем технологического оснащения и квалификацией персонала). Система включает анализ множества субпотенциалов — от финансовых возможностей до инновационной активности, совокупность которых определяет интегральный показатель цифровой зрелости экосистемы.

Важными составляющими являются коэволюционный потенциал, который учитывает способность участников системы создавать дополнительную ценность за счет взаимосвязанного, взаимообусловленного и взаимодополняемого развития акторов экосистемы (единая архитектура



бизнес-модели экосистемы, совместимые платформы и цифровые сервисы, единые стандарты данных и т.д.), и потенциал экосистемной синергии, отражающий качество и глубину взаимодействий между участниками экосистемы, ее сетевые преимущества на основе эмерджентности.

В зависимости от особенностей оценки можно рассматривать следующие показатели потенциала экосистемной синергии:

- 1) коэффициент экосистемной интеграции/связности = количество связей между участниками / максимально возможное число связей * 100%;
- 2) глубина интеграции данных = объем общедоступных данных / объем данных отдельных участников * 100%;
- 3) коэффициент экономии от синергии = сумма сокращенных затрат / затраты до объединения * 100%;
- 4) коэффициент использования совместных платформ/сервисов = число операций через общую платформу экосистемы/операции в целом по всем предприятиям в экосистеме * 100%;
- 5) коэффициент совместных инноваций = число совместных инновационных проектов / общее число проектов * 100%;
- 6) коэффициент обмена технологиями: число внедрений технологий от партнеров / общее число внедрений технологий * 100%;
- 7) коэффициент синергетического эффекта = общая выручка экосистемы / потенциальная выручка участников при раздельной работе * 100%.

Таким образом, цифровой коэволюционный потенциал можно представить следующим образом (рис. 2).

Цифровой коэволюционный потенциал экосистемы включает следующие субпотенциалы и показатели, представленные ниже [15]:

1. Материально-технический субпотенциал: стоимость основных средств, уровень освоения новой техники, обеспеченность оборотными средствами, трудоемкость произведенной инновационной продукции и т.д.
2. Финансово-экономический субпотенциал: уровень затрат на приобретение технологий, машин и оборудования, программного обеспечения, стоимость собственных финансовых ресурсов, прибыль и выручка кластера.
3. Инновационный субпотенциал: затраты на проведение инноваций и НИОКР, доля и объем инновационной продукции, количество проданных лицензий, количество новых видов продукции за определенное время.
4. Организационно-управленческий субпотенциал: скорость принятия тактических решений, «высота» организационной структуры, загруженность менеджмента, система мотивации работников, количество лабораторий, уровень организационного развития, включенность менеджмента в инновационный процесс.
5. Кадровый субпотенциал: количество работников, готовность сотрудников к принятию изменений, уровень качества подготовки сотрудников компании к применению цифровых технологий, уровень затрат на дополнительное обучение персонала.
6. Инфраструктурный субпотенциал: доступность сырья и природных ресурсов, уровень развития инновационной структуры, уровень развития образовательной структуры, логистической и энергетической структуры.
7. Информационный субпотенциал: обеспечение сотрудников персональным компьютером, внедрение технологий Индустрии 4.0/5.0 (промышленный интернет вещей, ИИ, большие базы данных и т.д.), объем использования цифровых каналов во внутренних процессах и при взаимодействии с внешними участниками, использование цифровых инструментов.
8. Потенциал экосистемной синергии — позволяет скорректировать оценку с учетом качества взаимодействия между участниками экосистемы. Даже если предприятия в рамках экосистемы

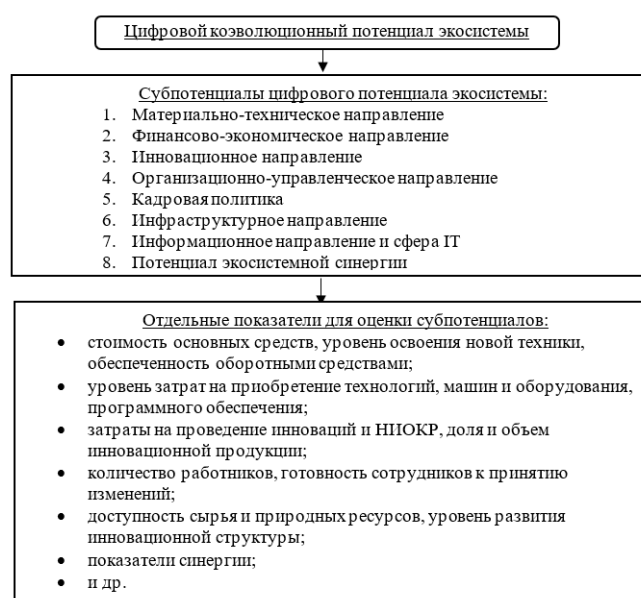


Рис. 2. Структура цифрового коэволюционного потенциала промышленной экосистемы

Fig. 2. The structure of the digital coevolutionary potential of the industrial ecosystem

по отдельности имеют высокий потенциал для цифрового развития, они не обязательно успешно взаимодействуют друг с другом, что будет негативно сказываться на общем показателе цифровой зрелости. Данный блок позволяет учесть подобные особенности, выражаемые через свойства промышленного симбиоза и эмерджентности экосистемы.

Цифровой форсайт, отражающий способность экосистемы реализовывать свои стратегические технологические возможности, включает следующие субпотенциалы:

1. Цифровое видение экосистемы — общая стратегическая инициатива, объединяющая и координирующая все усилия компании по максимальному раскрытию преимуществ цифровых технологий.
2. Миссия экосистемы — 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. Брендинг 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.

Еще раз отметим, что цифровой потенциал характеризует текущее состояние технологических и организационных возможностей предприятия, отражая его актуальные ресурсы и возможности. В то же время цифровой форсайт ориентирован на перспективы развития (способности экосистемы), определяя стратегические цели цифровой трансформации и этапы их достижения.

Продemonстрируем работоспособность методики оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы на примере следующих расчетов (табл. 2–4).

Таблица 2. Значения и веса субпотенциалов цифрового форсайта экосистемы
Table 2. Values and weights of the subpotentials of the digital foresight ecosystem

	Субпотенциал	Значение (от 0 до 1)	Вес
1	Цифровое видение предприятия	0,44	27%
2	Миссия компании	0,67	17%
3	Целеполагание	0,86	10%
4	Управление ценностью продуктов и услуг	0,76	13%
5	Брендинг продуктов	0,84	10%
6	Стратегия цифровизации / цифровой трансформации	0,80	23%
		Общий вес:	100%

На основе данной таблицы можно отметить, что для рассматриваемой экосистемы с точки зрения цифрового форсайта наиболее приоритетными являются субпотенциалы 1 и 6 (в сумме имеют вес 50%).

При этом Цифровое видение предприятия имеет достаточно среднее значение 0,44, что сильно сказывается на общей оценке цифрового форсайта.

Таблица 3. Результаты определения значений субпотенциалов цифрового коэволюционного потенциала предприятия
Table 3. Results of determining the values of the subpotentials of the digital coevolutionary potential of the enterprise

№	Субпотенциалы			
1	Материально-технический	Значение (от 0 до 1)	Вес	Арифм.
	стоимость основных средств	0,77	50%	0,385
	обеспеченность оборотными средствами	0,65	60%	0,39
	стоимость нематериальных активов	0,83	10%	0,083
			120%	0,858
2	Финансово-экономический	Значение	Вес	
	уровень затрат на приобретение технологий, машин и оборудования	0,56	35%	0,196
	стоимость собственных финансовых ресурсов	0,69	50%	0,345
	чистая прибыль	0,80	15%	0,12
			100%	0,661
3	Инновационный	Значение	Вес	
	затраты на проведение инноваций и НИОКР	0,70	80%	0,56
	количество новых видов продукции за определенное время	0,15	20%	0,03
			100%	0,59
4	Организационно-управленческий	Значение	Вес	
	«высота» организационной структуры	0,68	35%	0,238
	загруженность менеджмента	0,42	32%	0,1344
	система мотивации работников	0,81	33%	0,2673
			100%	0,6397

Окончание таблицы 3

№	Субпотенциалы			
5	Кадровый	Значение	Вес	
	количество работников	0,82	50%	0,41
	готовность сотрудников к принятию изменений	0,63	25%	0,1575
	уровень качества подготовки сотрудников компании	0,90	25%	0,225
			100%	0,7925
6	Инфраструктурный	Значение	Вес	
	доступность сырья и природных ресурсов	0,81	70%	0,567
	уровень развития образовательной структуры	0,41	30%	0,123
			100%	0,69
7	Информационный	Значение	Вес	
	обеспечение сотрудников персональным компьютером	0,71	50%	0,355
	использование цифровых технологий	0,60	50%	0,3
			100%	0,655
8	Потенциал экосистемной синергии	Значение	Вес	
	экосистемная интеграция	0,71	40%	0,284
	экономия от синергии	0,89	45%	0,4005
	совместные инновации	0	15%	0
			100%	0,6845

В табл. 3 представлен ряд показателей для оценки отдельных субпотенциалов коэволюционного потенциала экосистемы. В зависимости от целей оценки можно выделить намного больше дополнительных ее показателей или изменить их.

Можно выделить достаточно низкие значения по ряду показателей коэволюционного потенциала экосистемы — в частности, экосистема сильнее всего отстает по показателю количества новых видов продукции, что является ее узким местом.

Кроме того, ряд показателей также имеет не самые лучшие значения (в пределах 0,4–0,45), что может требовать дальнейшей доработки.

Таблица 4. Значения и веса субпотенциалов цифрового коэволюционного потенциала предприятия
Table 4. Values and weights of subpotentials of the digital coevolutionary potential of the enterprise

№	Субпотенциал	Значение	Вес
1	Материально-техническое направление	0,858	23%
2	Финансово-экономическое направление	0,661	12%
3	Инновационное направление	0,59	8%
4	Организационно-управленческое направление	0,6397	13%
5	Кадровая политика	0,7925	14%
6	Инфраструктурное направление	0,69	8%
7	Информационное направление и сфера IT	0,655	12%
8	Потенциал экосистемной синергии	0,6845	10%
		Общий вес:	100%

На основе данных табл. 4 можно отметить, что наименее значимыми субпотенциалами для экосистемы являются инновационное и инфраструктурное направления. При этом наименьшие значения экосистема имеет также по этим субпотенциалам, поэтому это не так сильно скажется на итоговом показателе.

В табл. 5 представлен итоговый показатель уровня цифровой зрелости промышленной экосистемы. В данном случае вес между коэволюционным потенциалом и форсайтом распределяется в соотношении 70/30. Это говорит о том, что при проведении оценки для экосистемы более важным являются ее текущие возможности, включая трудовые, денежные и иные ресурсы.

В зависимости от особенностей экосистемы данное соотношение может быть другим.

Таблица 5. Интегральный показатель цифровой зрелости экосистемы
Table 5. An integral indicator of the digital maturity of the ecosystem

	Значение арифметическое	Вес
Цифровой потенциал	0,72	0,700
Цифровой форсайт	0,686	0,300
Итого	0,71	

Таким образом, цифровая зрелость экосистемы находится на уровне 0,71, т.е. она оценивается как выше среднего.

Отдельно можно отметить, что потенциал экосистемной синергии был оценен на уровне 0,6845, т.е. является выше среднего и требует дальнейшей работы по его повышению.

Таким образом, этапы методики оценки уровня цифровой зрелости промышленной экосистемы можно представить следующим образом:

1) Проводится подготовка к оценке цифровой зрелости — создается рабочая группа из IT-специалистов, руководителей производственных подразделений, которые будут участвовать в проведении оценки. Устанавливаются общие сроки оценки, а также ее основные цели — выявить основные узкие места энергетического предприятия с точки зрения цифровой развития, проследить соответствие существующей стратегии по цифровой трансформации.

2) Производится сбор, анализ и систематизация исходных данных для оценки экосистемы. Основными источниками для получения данных являются анализ документации и отчетов, а также опросы и интервью сотрудников предприятий.

3) Производится оценка цифрового потенциала и цифрового форсайта предприятий, входящих в экосистему, присваиваются весовые коэффициенты для каждого направления в зависимости от особенностей оценки. Перед проведением оценки уточняются показатели оценки для каждого из субпотенциалов — интересует ли нас изучение доли сотрудников с цифровыми навыками, уровень покрытия IoT-датчиками, процент сбоев и аварий на участках или ряд иных показателей. Вычисляется потенциал экосистемной синергии для расчета коэволюционного потенциала экосистемы.

4) Проводится оценка общего показателя цифровой зрелости экосистемы, делаются выводы о ресурсах, возможностях и способностях предприятий по проведению цифровой трансформации — какие направления наименее развиты, какие из них являются ключевыми, какие возможности по усилению своих сильных сторон или устранению слабых сторон имеют предприятия, какие существуют потенциальные угрозы для их дальнейшего развития и проведения цифровой трансформации. Делается общая оценка уровня цифровой зрелости.

5) В зависимости от результатов оценки цифровой зрелости, а также целей экосистемы определяются формат и объем проводимых изменений, применяемые цифровые технологии, разрабатываются рекомендации и стратегия цифровой трансформации — будет ли предприятие точно

внедрять новую технологию на одном из участков/объектов или же стремиться полностью преобразовать свои бизнес-процессы, каких ресурсов это потребует, необходимо ли дополнительно обучать персонал для эффективного использования новых технологий.

б) Проводится внедрение новых технологий, рассматриваются полученные результаты и разрабатываются предложения по дальнейшему совершенствованию экосистемы. Происходит постоянный мониторинг и корректировка получаемых результатов внедрения.

Построим матрицу соотношения уровня цифровой зрелости экосистемы и ее составляющих: коэволюционного потенциала и цифрового форсайта (табл. 6).

Таблица 6. Матрица оценки уровня цифровой зрелости экосистемы в зависимости от развития цифрового коэволюционного потенциала и цифрового форсайта
Table 6. Matrix for assessing the level of digital maturity of an ecosystem depending on the development of digital coevolutionary potential and digital foresight

Уровень цифровой зрелости	Цифровой коэволюционный потенциал (70%) (технологии, инфраструктура, данные)	Цифровой форсайт (30%) (стратегия, целеполагание)	Итоговый уровень
Начальный (фрагментарный)	Ручные процессы, отсутствие IoT Локальные цифровые решения Данные не структурированы	Нет стратегии цифровизации Управление на основе опыта (не данных) Нет долгосрочного видения	0–25%
Развивающийся (интеграционный)	Внедрены базовые цифровые решения Частичная автоматизация Обучение персонала	План цифровизации отдельных цехов Пилотные проекты (предиктивная аналитика)	26–50%
Трансформационный (преобразующий)	Цифровые двойники оборудования ИИ для контроля качества Единая цифровая платформа Высокий уровень цифровых компетенций	Цифровая стратегия на 3–5 лет ROI-анализ инноваций Четкая дорожная карта трансформации	51–75%
Интеллектуальный (экосистемный)	Интеллектуальные системы поддержки решений Интеллектуальные производства Квантовые вычисления ИИ для управления предприятием Замкнутые циклы ресурсов	Гибкие бизнес-модели Лидерство в отраслевых стандартах Экосистемная цифровая стратегия	76–100%

На основе данной матрицы можно отметить, что в среднем цифровой коэволюционный потенциал имеет несколько большее значение (70%) в сравнении с цифровым форсайтом. Это может быть объяснено тем, что, даже если экосистема имеет великолепную цифровую стратегию, подробный план цифрового развития на ближайшие 5–10 лет и т.д., этого не всегда достаточно для развития экосистемы, если у нее отсутствуют ресурсы и возможности для реализации своих стратегий.

Однако в зависимости от особенностей экосистемы / рассматриваемой отрасли данное соотношение может быть другим.

Кроме того, важно отметить, что для перехода на новый уровень деятельности экосистемы необходимо синхронное развитие обоих компонентов. Если экосистема слишком отстает по одному



из них, другой компонент тоже не может быть реализован в полной мере, что скажется на итоговой оценке цифровой зрелости в худшую сторону.

К примеру, если у экосистемы высокий цифровой потенциал (например, внедрены ИИ и цифровые двойники), но низкий уровень форсайта (нет стратегии цифрового развития, дорожной карты изменений), ее цифровая зрелость вряд ли превысит 50%. Если у экосистемы есть амбициозная стратегия (форсайт), но неразвитая инфраструктура (потенциал), рост также будет ограничен.

Важно сохранять баланс при развитии этих направлений, и разработанная матрица помогает выявить дисбалансы и приоритетные направления для развития экосистемы.

Заключение

Разработанный подход оценки цифровой зрелости интеллектуальной экосистемы на основе коэволюционного потенциала существенно повышает ценность оценки цифровой зрелости за счет учета системного характера цифровой трансформации, преимуществ процессов коэволюции и синергетических эффектов, повышения точности оценки и прогнозирования.

Такой методологический подход особенно важен в условиях быстро меняющейся цифровой экономики, где способность экосистемы к скоординированному развитию становится критическим фактором конкурентоспособности.

В результате исследований получены следующие основные результаты:

1. Рассмотрены современное состояние предметной области цифровой экономики, цифровизации, цифровых технологий, а также понятие, особенности и преимущества интеллектуальных промышленных экосистем.
2. Уточнен и систематизирован терминологический аппарат, отражающий ключевые понятия «интеллектуальная промышленная экосистема» и «цифровая зрелость».
3. Предложен комплексный научно-методический подход для оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы, который позволяет оценивать цифровой коэволюционный потенциал, учитывающий особенности синергетических эффектов экосистемы, и цифровой форсайт промышленных экосистем.
4. На основе предложенного подхода разработана методика оценки цифровой зрелости, интегрирующая как анализ текущих возможностей экосистемы (коэволюционный потенциал), так и перспективы ее развития (цифровой форсайт). Апробация разработанной методики проведена на примере проведенных расчетов для конкретной промышленной экосистемы.
5. Разработанный подход и методика представляют собой инструментарий оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы на основе коэволюции и экосистемной синергии, который является дальнейшим развитием теории и инструментов цифровой экономики.

Направления дальнейших исследований

В ходе дальнейших исследований предполагается уточнить процедуру оценки коэволюционного потенциала экосистемы с учетом эффектов промышленного симбиоза и провести апробацию методики на практическом примере реальной интеллектуальной промышленной экосистемы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фомина А.В., Мухин К.Ю. (2018) Индустрия 4.0. Основные понятия, преимущества и проблемы. *Экономический вектор*, 3 (14), 33–38.
2. Тарасов И.В. (2018) Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития. *Стратегии бизнеса*, 6 (50), 57–63.

3. Щетинина, Н.Ю. (2017) Индустрия 4.0: Практические аспекты реализации в российских условиях. *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*, 1 (21), 75–84.
4. Тарасов И.В. (2018) Технологии индустрии 4.0: Влияние на повышение производительности промышленных компаний. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 2, 62–69. DOI: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-2-62-69>
5. Бабкин А.В., Гаев К.Ю., Михайлов П.А., Теплицкий Г.С. (2024) Методика выбора и внедрения технологий искусственного интеллекта для предприятий и кластерных экосистем в условиях Индустрии 5.0. *Вестник Академии знаний*, 4 (63), 64–71.
6. Rijwani T., Kumari S., Srinivas R., Abhishek K., Iyer G., Vara H., Dubey Sh., Revathi V., Gupta M. (2025) Industry 5.0: a review of emerging trends and transformative technologies in the next industrial revolution. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 19, 667–679. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-024-01943-7>
7. Розанова Н.М. (2023) Индустрия 5.0: Золотой век или прыжок в темноту? *Вестник Института экономики Российской академии наук*, 6, 61–76. DOI: https://doi.org/10.52180/2073-6487_2023_6_61_77
8. Roshid Md.M., Waaje A., Karim R. (2025) Industry 6.0 as an Emerging Field of Research: A Systematic and Bibliometric Analysis. *EMIDWORLD 2nd International Congress on Economics Public Finance Business & Social Science*, 784–802.
9. Бабкин А.В., Либерман И.В., Клячек П.М., Шкарупета Е.В. (2025) Индустрия 6.0: методология, инструментарий, практика. *π-Economy*, 18 (1), 21–56. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18102>
10. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. (2024) Индустрия 6.0: сущность, тенденции и стратегические возможности для России. *Экономика промышленности*, 17 (4), 353–377. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-4-1369>
11. Клишин И.А. (2023) Влияние цифровых технологий на развитие промышленного предприятия: опыт и перспективы. *Вестник Московского финансово-юридического университета*, 4, 117–124. DOI: https://doi.org/10.52210/2224669X_2023_4_117
12. Назаренко А.А. (2021) Распространение цифровых технологий среди малых и средних форм хозяйствующих субъектов в Российской Федерации. *Вопросы инновационной экономики*, 11 (4), 1439–1450. DOI: <https://doi.org/10.18334/vinec.11.4.113671>
13. Крюкова И.В. (2022) Цифровая экономика как системный тренд. *E-Scio*, 10 (73), 377–392.
14. Дуплякина О.К., Мирошниченко М.А. (2017) Необходимые условия развития цифровой экономики в России. *Экономика знаний в России: от генерации знаний и инноваций к когнитивной индустриализации*, 225–232.
15. Бабкин А.В., Михайлов П.А. (2024) Методика оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы на основе ее потенциала и форсайта. *Стратегическое управление цифровой трансформацией интеллектуальной экономики и промышленности в новой реальности* (под ред. А.В. Бабкина), монография, СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 748–764. DOI: <https://doi.org/10.18720/IEP/2024.3/31>. [online] Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67925044&pff=1> [Accessed 5.08.2025]. (in Russian)
16. Кудбиев Ш.Д. (2019) Зарубежный опыт стимулирования рынка труда в условиях цифровой трансформации. *International scientific review*, 67, 33–42.
17. Киртон Дж. (2020) Последствия глобализации для управления «Группы двадцати». *Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика*, 15 (2), 24–54. DOI: <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2020-02-02>
18. Зайченко И.М., Козлов А.В., Шитова Е.С. (2020) Драйверы цифровой трансформации бизнеса: понятие, виды, ключевые стейкхолдеры. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*, 13 (5), 38–49. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.13503>
19. Xia L., Baghaie S., Mohammad S. (2024) The digital economy: Challenges and opportunities in the new era of technology and electronic communications. *Ain Shams Engineering Journal*, 15 (2), art. no. 102411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102411>
20. Паньшин Б. (2019) Цифровая экономика: понятия и направления развития. *Наука и инновации*, 3 (193), 48–55.
21. Соколинская Н.Э., Зиновьева Е.А. (2021) Ключевые цифровые технологии «будущего» в России. *Финансовые рынки и банки*, 5, 42–49.



22. Машевская О.В. (2020) Цифровые технологии как основа цифровой трансформации современного общества. *Вестник Полесского государственного университета. Серия общественных и гуманитарных наук*, 1, 37–44.
23. Гелисханов И.З., Юдина Т.Н., Бабкин А.В. (2018) Цифровые платформы в экономике: сущность, модели, тенденции развития. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*, 11 (6), 22–36. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.11602>
24. Кругликов С.В., Ивашкин М.В. (2021) Цифровые платформы как инструмент эволюции информационных коммуникаций. *Вестник Академии знаний*, 6 (47), 227–235. DOI: <https://doi.org/10.24412/2304-6139-2021-6-227-235>
25. Митяков С.Н., Митяков Е.С. (2024) Формирование промышленных экосистем как инструмент антикризисного управления. *Мир новой экономики*, 18 (3), 47–62. DOI: <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2024-18-3-47-62>
26. Головина А.Н., Потанин В.В. (2021) Развитие теоретических основ формирования экосистем промышленных предприятий. *Общество: политика, экономика, право*, 12 (101), 52–56. DOI: <https://doi.org/10.24158/per.2021.12.8>
27. Титова Н.Ю., Зиглина В.Е. (2021) Различия и сходства понятий «промышленные кластеры» и «промышленные экосистемы». *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика*, 3, 7–17. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2021-3-7-16>
28. Донцова О.И. (2023) Цифровая трансформация промышленных кластеров. *Экономика, предпринимательство и право*, 13 (1), 4929–4942. DOI: <https://doi.org/10.18334/epp.13.11.119669>
29. Герцик Ю.Г., Малашин И.П., Горлачева Е.Н. (2024) Особенности построения промышленной экосистемы цифрового формата. *Экономика высокотехнологичных производств*, 5 (1), 9–24. DOI: <https://doi.org/10.18334/evp.5.1.120923>
30. Вишнягова Е.А., Соловьева И.А. (2024) Идентификация структуры и особенностей промышленных экосистем. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*, 18 (1), 80–89. DOI: <https://doi.org/10.14529/em240107>
31. Борисюк Н.К., Смотрина О.С. (2023) Развитие потенциала промышленной экосистемы региона. *Креативная экономика*, 17 (9), 3217–3230. DOI: <https://doi.org/10.18334/ce.17.9.118930>
32. Карпинская Р.С., Лисеев И.К., Огурцов А.П. (1995) *Философия природы: коэволюционная стратегия*, М.: Интерпракс.
33. Клейнер Г.Б. (2019) Экономика экосистем: шаг в будущее. *Экономическое возрождение России*, 1 (59), 40–45.
34. Карпинская В.А. (2018) Экосистема как единица экономического анализа. *Системные проблемы отечественной мезоэкономики, микроэкономики, экономики предприятий*, 2, 125–141. DOI: <https://doi.org/10.33276/978-5-8211-0769-5-125-141>
35. Бабкин А.В., Ташенова Л.В. (2020) Этапы оценки цифрового потенциала инновационно-активного промышленного кластера Арктической зоны России. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*, 13 (5), 65–81. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.13505>

REFERENCES

1. Fomina A.V., Mukhin K.Yu. (2018) Industry 4.0. Basic concepts, advantages and problems. *Economic Vector*, 3 (14), 33–3.
2. Tarasov I.V. (2018) Industry 4.0: Concept & development. *Business Strategies*, 6 (50), 57–63.
3. Shchetinina N.Yu. (2017) Industry 4.0: Practical aspects of introduction in the russian conditions. *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*, 1 (21), 75–84.
4. Tarasov I.V. (2018) Industry 4.0: Technologies and their impact on productivity of industrial companies. *Strategic decisions and risk management*, 2, 62–69. DOI: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-2-62-69>
5. Babkin A.V., Gaev K.Yu., Mikhailov P.A., Teplitsky G.S. (2024) Methodology for the selection and implementation of artificial intelligence technologies for enterprises and cluster ecosystems in the context of industry 5.0. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 4 (63), 64–71.

6. Rijwani T., Kumari S., Srinivas R., Abhishek K., Iyer G., Vara H., Dubey Sh., Revathi V., Gupta M. (2025) Industry 5.0: a review of emerging trends and transformative technologies in the next industrial revolution. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 19, 667–679. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-024-01943-7>
7. Rozanova N.M. (2023) Industry 5.0: A golden age or a leap into the dark? *Vestnik Instituta Ekonomiki Rossiyskoy Akademii Nauk (The Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences)*, 6, 61–76. DOI: https://doi.org/10.52180/2073-6487_2023_6_61_77.
8. Roshid Md.M., Waaje A., Karim R. (2025) Industry 6.0 as an emerging field of research: a systematic and bibliometric analysis. *EMIDWORLD 2nd International Congress on Economics Public Finance Business & Social Science*, 784–802.
9. Babkin A.V., Liberman I.V., Klachek P.M., Shkarupeta E.V. (2025) Industry 6.0: methodology, tools, practice. *π-Economy*, 18 (1), 21–56. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18102>
10. Babkin A.V., Shkarupeta E.V. (2024) Industry 6.0: the essence, trends and strategic opportunities for Russia. *Russian Journal of Industrial Economics*, 17 (4), 353–377. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-4-1369>
11. Klishin I.A. (2023) The impact of digital technologies on the development of an industrial enterprise: Experience and prospects. *Herald of the Moscow university of finances and law MFUA*, 4, 117–124. DOI: https://doi.org/10.52210/2224669X_2023_4_117
12. Nazarenko A.A. (2021) The spread of digital technologies in small and medium-sized enterprises in the Russian Federation. *Russian Journal of Innovation Economics*, 11 (4), 1439–1450. DOI: <https://doi.org/10.18334/vinec.11.4.113671>
13. Kryukova I.V. (2022) Cifrovaya ekonomika kak sistemnyj trend [Digital economy as a systemic trend]. *E-Scio*, 10 (73), 377–392.
14. Duplyakina O.K., Miroshnichenko M.A. (2017) Necessary conditions for the development of the digital economy in Russia. *Ekonomika znanij v Rossii: ot generacii znanij i innovacij k kognitivnoj industrializacii [Knowledge Economy in Russia: From Knowledge and Innovation Generation to Cognitive Industrialization]*, 225–232.
15. Babkin A.V., Mikhailov P.A. (2024) Methodology for assessing the digital maturity of industrial ecosystems based on its capabilities and foresight. *Strategicheskoe upravlenie cifrovoy transformaciej intellektual'noj ekonomiki i promyshlennosti v novoj real'nosti [Strategic management of digital transformation of the intelligent economy and industry in the new reality]* (eds. A.V. Babkin), 748–764. DOI: <https://doi.org/10.18720/IEP/2024.3/31>
16. Kudbiev Sh.D. (2020) Foreign experience of stimulating the labor market in the context of digital transformation. *International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education*, 33–41.
17. Kirton J. (2020) Globalization's Implications for G20 Governance. *International Organisations Research Journal*, 15 (2), 24–54. DOI: <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2020-02-02>
18. Zaychenko I.M., Kozlov A.V., Shytova Y.S. (2020) Drivers of digital transformation of a business: Meaning, classification, key stakeholders. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 13 (5), 38–49. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.13503>
19. Xia L., Baghaie S., Sajadi S.M. (2024) The digital economy: Challenges and opportunities in the new era of technology and electronic communications. *Ain Shams Engineering Journal*, 15 (2), art. no. 102411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102411>
20. Pan'shin B. (2019) Cifrovaya ekonomika: ponyatiya i napravleniya razvitiya [Digital economy: concepts and directions of development]. *Science and Innovations*, 3 (193), 48–55.
21. Sokolinskaya N.E., Zinovieva E.A. (2021) Key digital future technologies in Russia. *Financial Markets and Banks*, 5, 42–49.
22. 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.
23. Geliskhanov I.Z., Yudina T.N., Babkin A.V. (2018) Digital platforms in economics: essence, models, development trends. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 11 (6), 22–36. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.11602>.
24. Kruglikov C.V., Ivashkin M.V. (2021) Digital platforms as a tool for the evolution of information communications. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 6 (47), 227–235. DOI: <https://doi.org/10.24412/2304-6139-2021-6-227-235>
25. Mityakov S.N., Mityakov E.S. (2024) Creating industrial ecosystems as a tool for anti-crisis management. *The world of new economy*, 18 (3), 47–62. DOI: <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2024-18-3-47-62>



26. Golovina A.N., Potanin V.V. (2021) Development of theoretical foundations of the formation of industrial enterprises' ecosystems. *Society: Politics, Economics, Law*, 12 (101), 52–56. DOI: <https://doi.org/10.24158/pep.2021.12.8>
27. Titova N., Ziglina V. (2021) Differences and similarities of concepts of industrial clusters and industrial ecosystems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Economics*, 3, 7–16. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2021-3-7-16>
28. Dontsova O.I. (2023) Digital transformation of industrial clusters. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*, 13 (11), 4929–4942. DOI: <https://doi.org/10.18334/epp.13.11.119669>
29. Gertsik Y.G., Malashin I.P., Gorlacheva E.N. (2024) Characteristics of building an industrial ecosystem of digital format. *High-tech Enterprises Economy*, 5 (1), 9–24. DOI: <https://doi.org/10.18334/evp.5.1.120923>
30. Vishnyagova E.A., Solovieva I.A. (2024) Identification of structure and features of industrial ecosystems. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Economics and Management"*, 18 (1), 80–89. DOI: <https://doi.org/10.14529/em240107>
31. Borisyuk N.K., Smotrina O.S. (2023) Developing the region's industrial ecosystem potential. *Creative Economy*, 17 (9), 3217–3230. DOI: <https://doi.org/10.18334/ce.17.9.118930>
32. Karpinskaya R.S., Liseev I.K., Ogurcov A.P. (1995) *Filosofiya prirody: koevolyucionnaya strategiya* [Philosophy of Nature: Coevolutionary Strategy], Moscow: Interpraks.
33. Kleiner G.B. (2019) Ecosystem economy: Step into the future. *Economic Revival of Russia*, 1 (59), 40–45.
34. Karpinskaya V.A. (2018) Ekosistema kak edinica ekonomicheskogo analiza [Ecosystem as a unit of economic analysis]. *Sistemnye problemy otechestvennoj mezoekonomiki, mikroekonomiki, ekonomiki predpriyatij* [Systemic problems of domestic mesoeconomics, microeconomics, and enterprise economics], 2, 125–141. DOI: <https://doi.org/10.33276/978-5-8211-0769-5-125-141>
35. Babkin A.V., Tashenova L.V. (2020) Evaluation stages of digital potential of an innovation-active industrial cluster of the Arctic zone of Russia. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 13 (5), 65–81. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.13505>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

БАБКИН Александр Васильевич

E-mail: al-vas@mail.ru

Aleksandr V. BABKIN

E-mail: al-vas@mail.ru

МИХАЙЛОВ Павел Александрович

E-mail: pavel-mixailov1999@yandex.ru

Pavel A. MIKHAILOV

E-mail: pavel-mixailov1999@yandex.ru

ШКАРУПЕТА Елена Витальевна

E-mail: 9056591561@mail.ru

Elena V. SHKARUPETA

E-mail: 9056591561@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3644-4239>

ЧЭНЬ Лэйфэй

E-mail: chenleifei@yandex.ru

CHEN Leifei

E-mail: chenleifei@yandex.ru

Поступила: 10.07.2025; Одобрена: 05.08.2025; Принята: 05.08.2025.

Submitted: 10.07.2025; Approved: 05.08.2025; Accepted: 05.08.2025.