

# Инструментальные методы и модели Instrumental methods and models

Научная статья

УДК 330.322.012

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.17410>



## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ЭКОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО КОЭВОЛЮЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА

А.В. Бабкин<sup>1</sup> ✉, П.А. Михайлов<sup>1</sup>, Е.В. Шкарупета<sup>1,2</sup> , К.Б. Гаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Воронежский государственный технический университет,  
г. Воронеж, Российская Федерация

✉ [al-vas@mail.ru](mailto:al-vas@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные этапы цифровизации хозяйствующих субъектов, в том числе промышленных предприятий и экосистем, начиная с автоматизации, благодаря которой с персонала снимаются рутинные задачи и появляется возможность сконцентрироваться на более сложных или творческих процессах, и заканчивая полной цифровой трансформацией, в рамках которой происходят преобразования на всех уровнях работы хозяйствующего субъекта. В качестве *объекта исследования* авторы рассматривают промышленные предприятия и экосистемы в условиях цифровизации и цифровой трансформации экономики и промышленности. *Предметом исследования* являются научно-методический инструментарий оценки цифрового потенциала и цифровой зрелости промышленных предприятий и экосистем, а также организационно-экономические отношения, возникающие в процессе его применения. *Цель исследования* заключается в разработке научно-методического подхода оценки цифрового потенциала промышленного предприятия и коэволюционного потенциала промышленной экосистемы, на основе которых необходимо предложить методику оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и экосистемы. Для оценки цифрового потенциала и цифровой зрелости предприятий и экосистем применялись *методы* иерархического комплексирования интегральных показателей. *Материалами исследований* выступали сведения из открытых электронных источников, данные статистических и научных отчетов о развитии промышленности России, предприятий и экосистем. В ходе исследования получены следующие *основные результаты*: уточнен терминологический аппарат в части дефиниций «экосистема», «промышленная экосистема», «цифровой коэволюционный потенциал», «цифровая зрелость»; представлен научно-методический подход для оценки цифрового потенциала промышленного предприятия и коэволюционного потенциала промышленной экосистемы; разработана методика оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и методика оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы на основе цифрового коэволюционного потенциала. Рассмотрены различные подходы к понятию цифровой зрелости предприятия как совокупной оценки цифрового потенциала и цифровой зрелости предприятия. Для разработанной методики оценки цифровой зрелости промышленного предприятия приведены результаты ее апробации и рассмотрены результаты расчетов цифровой зрелости предприятия при изначальных условиях, а также при изменении исходных данных. Изложены этапы реализации методики оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы на основе коэволюционного потенциала.

**Ключевые слова:** цифровизация, цифровой потенциал, цифровая зрелость, предприятия, промышленные экосистемы, коэволюционный потенциал

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-28-01316 «Стратегическое управление эффективным устойчивым ESG-развитием многоуровневой киберсоциальной промышленной экосистемы кластерного типа в циркулярной экономике на основе концепции Индустрия 5.0: методология, инструментарий, практика», <https://rscf.ru/project/23-28-01316>

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

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.17410>



## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE DIGITAL MATURITY OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE AND ECOSYSTEM BASED ON DYNAMIC COEVOLUTIONARY POTENTIAL

A.V. Babkin<sup>1</sup> , P.A. Mikhailov<sup>1</sup>, E.V. Shkarupeta<sup>1,2</sup> , K.B. Gaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
St. Petersburg, Russian Federation;

<sup>2</sup> Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

 [al-vas@mail.ru](mailto:al-vas@mail.ru)

**Abstract.** The article discusses the main stages of digitalization of economic entities, including industrial enterprises and ecosystems, starting with automation, due to which routine tasks are removed from personnel and there is an opportunity to focus on more complex or creative processes, and ending with full digital transformation, which involves transformations at all levels of the economic entity's work. As *the object of the study*, the authors considered industrial enterprises and ecosystems in the context of digitalization and digital transformation of the economy and industry. The subject of the study was the scientific and methodological tools for assessing the digital potential and digital maturity of industrial enterprises and ecosystems, as well as organizational and economic relations, arising in the process of its application. *The purpose of the study* was to develop a scientific and methodological approach for assessing the digital potential of an industrial enterprise and the coevolutionary potential of an industrial ecosystem, based on which it is necessary to propose a methodology for assessing the digital maturity of an industrial enterprise and ecosystem. To assess the digital potential and digital maturity of enterprises and ecosystems, *methods* of hierarchical complexing of integral indicators were used. *The materials of the research* were information from open electronic sources, statistical and scientific reports on the development of Russian industry, enterprises and ecosystems. In the course of the study, the following *main results* were obtained. The terminological apparatus was clarified in terms of the definitions of “ecosystem”, “industrial ecosystem”, “digital coevolutionary potential”, “digital maturity”. A scientific and methodological approach for assessing the digital potential of an industrial enterprise and the coevolutionary potential of an industrial ecosystem was presented. A methodology for assessing the digital maturity of an industrial enterprise and a methodology for assessing the digital maturity of an industrial ecosystem based on digital coevolutionary potential were developed. Various approaches to the concept of digital maturity of an enterprise as a cumulative assessment of digital potential and digital foresight were considered. For the developed methodology for assessing the digital maturity of an industrial enterprise, the results of its testing were given and the results of calculations of the digital maturity of the enterprise under the initial conditions, as well as when the initial data were changed. The stages of implementation of the methodology for assessing the digital maturity of the industrial ecosystem based on coevolutionary potential were outlined.

**Keywords:** digitalization, digital potential, digital maturity, enterprises, industrial ecosystems, coevolutionary potential

**Acknowledgements:** The research was financially supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-28-01316 “Strategic management of effective sustainable ESG development of a multi-level cyber-social industrial ecosystem of a cluster type in a circular economy based on the concept of Industry 5.0: methodology, tools, practice”. Available online: <https://rscf.ru/project/23-28-01316>.

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

## Введение

В современных условиях человечество достигло настолько высокого уровня развития технологий и технологической инфраструктуры, что возможности хранения, передачи и скорость обработки данных постоянно растут и в перспективе продолжают расти экспоненциально.

Различные страны всего мира начинают уделять все больше внимания вопросам формирования и развития цифровой экономики, в основе которой лежат знания и информация, а одним из ключевых ресурсов является человеческий капитал: ведь креативность, присущая именно людям, является одной из движущих сил по формированию этих самых знаний и информации. Не менее актуальными становятся вопросы перехода общества к Индустрии 4.0, в рамках которой происходит массовое внедрение киберфизических систем на производстве, и даже к Индустрии 5.0, концепция которой предполагает формирование синергетического эффекта от взаимодействия машины (процесс автоматизации) и человека (способность к креативному мышлению, творчеству, нестандартным решениям) [1, 2, 5]. В соответствии с этим в научной и практической сферах возникает потребность в разработке научно-методического инструментария для количественной оценки результатов цифровизации и цифровой трансформации хозяйствующих субъектов.

### *Литературный обзор*

Цифровые технологии прочно вошли в нашу жизнь и в различные сферы общества: сегодня никого не удивит мобильным интернетом, облачными технологиями, технологиями BigData, блокчейн-технологиями, интернетом вещей, современными роботами и целыми умными фабриками. Их применение позволяет предприятиям решать огромный набор задач с высокой эффективностью [3, 4].

Более того, все быстрее формируются условия для повсеместного использования данных технологий различными предприятиями, что связано со снижением их стоимости, расширением опыта их применения, поисками новых способов повышения конкурентных преимуществ, а также их продолжающимся развитием [5–7].

Внедрение цифровых технологий и преобразование бизнес-процессов предприятия под проводимые изменения является долгосрочным и трудоемким процессом, который, как правило, проходит несколько этапов. В зависимости от своих целей, ресурсов и возможностей предприятия могут довольствоваться внедрением технических средств лишь в ключевые бизнес-процессы, стремиться полностью изменить свою бизнес-модель или же практически отказаться от этих изменений.

Базовым этапом является автоматизация производства, когда применение технических средств и технологий позволяет частично или полностью освободить человеческий труд от производственных процессов. Благодаря автоматизации можно освободить сотрудников от выполнения рутинных задач и сфокусироваться на более важных или творческих бизнес-процессах. Тем не менее данный этап не лишен своих недостатков – повсеместная автоматизация может привести к потере контроля над деятельностью предприятий и, тем более, таких сложных экономических агентов, как интегрированные промышленные структуры, кластеры, экосистемы, снижению гибкости и адаптивности к новым требованиям рынка, когда изменение бизнес-процессов под новые условия может потребовать больших временных и денежных затрат [8, 9].

Более эффективным этапом, позволяющим решить ряд проблем автоматизации, является оцифровка бизнес-процессов, когда происходит перевод аналоговых данных на цифровые носители. На данном этапе предприятие (кластер, экосистема) активно внедряет компьютерное оборудование, программное обеспечение, развивает свой IT-отдел и т.д.

Таким образом, оцифровка позволяет не только освободить персонал от решения рутинных задач, но также систематизировать работу предприятия и тем самым повысить степень контроля над бизнес-процессами. Однако оцифровка представляет собой лишь промежуточный этап, так как помимо перевода данных в цифровой формат предприятию необходимо создать подходящую цифровую инфраструктуру – т.е. провести цифровизацию бизнес-процессов [10].

После оцифровки предприятие может переходить к цифровизации – т.е. к внедрению цифровых технологий в свою деятельность с целью повышения эффективности функционирования и повышения конкурентоспособности. На этом этапе бизнес-процессы оптимизируются и адаптируются к новым инструментам и технологиям. Тем самым помимо преимуществ предыдущих этапов в виде решения рутинных задач и повышения контроля увеличивается гибкость предприятия, его приспособляемость к постоянно меняющимся условиям рынка [11, 12].

На основе цифровизации предприятие может провести полноценную цифровую трансформацию, в ходе которой происходит качественное преобразование бизнес-модели предприятия и его бизнес-процессов и максимально полно используются преимущества цифровых технологий с целью получения конкурентных преимуществ, тем самым продолжая повышать уровень цифровизации.

Цифровая трансформация происходит на всех уровнях работы хозяйствующего субъекта – проводятся преобразования при взаимодействии с внешней средой (работа над качеством сервиса, клиентским опытом), изменения во внутренней среде (принятие решений внутри предприятия, внутренние бизнес-процессы, организационная структура), изменение бизнес-модели предприятия, формата его деятельности в целом [13].

При этом необходимо отметить, что проведение цифровой трансформации не ограничивается только цифровыми предприятиями – она актуальна и для предприятий традиционного сектора экономики, стремящихся улучшить свою деятельность и тем самым получить преимущества на рынке. Кроме того, данный процесс является крайне затратным по трудовым, денежным, временным ресурсам, и далеко не всегда хозяйствующие субъекты имеют необходимые средства для его осуществления [14].

Для проведения таких масштабных преобразований предприятию (экосистеме) необходимо четкое понимание целей и задач проводимых изменений, конкретный план и алгоритм внедрения цифровых технологий, объединяющие различные сферы деятельности хозяйствующего субъекта – инжиниринг, производство, персонал, финансы, существующую IT-инфраструктуру и многое другое. Необходимо иметь количественные оценки имеющихся в распоряжении предприятия (экосистемы) ресурсов, возможностей и способностей, направленных на его цифровизацию и цифровую трансформацию.

На основании изложенного можно отметить **актуальность темы исследования** и научной задачи в области оценивания уровня цифровизации предприятия (экосистемы) с точки зрения объема и качества внедренных технических средств и цифровых технологий, бизнес-моделей. Изложенная научная задача и проведенный анализ публикаций позволяют сформулировать объект, предмет, цель и задачи исследования.

В качестве **объекта исследования** авторы рассматривают промышленные предприятия и экосистемы в условиях цифровизации и цифровой трансформации экономики и промышленности.

**Предметом исследования** является научно-методический инструментарий оценки цифрового потенциала и цифровой зрелости промышленных предприятий и экосистем, а также организационно-экономические отношения, возникающие в процессе его применения.



**Цель исследования** заключается в разработке научно-методического подхода оценки цифрового потенциала промышленного предприятия и коэволюционного потенциала промышленной экосистемы, на основе которых необходимо предложить методику оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и экосистемы.

Для достижения цели выделим основные **задачи исследования**:

1. Уточнить терминологический аппарат в части дефиниций «промышленная экосистема», «цифровой коэволюционный потенциал», «цифровая зрелость».
2. Представить научно-методический подход для оценки цифрового потенциала промышленного предприятия и коэволюционного потенциала промышленной экосистемы.
3. Разработать методику оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и промышленной экосистемы на основе цифрового коэволюционного потенциала.

### **Методы и материалы исследования**

Методы, использованные на разных этапах исследования, включают сравнительный системный и библиографический анализ, сопоставление данных отечественных и зарубежных исследований, сопоставление теоретических моделей и полученных из разных источников результатов анализа первичных данных.

В части исследования цифровизации отрасли промышленности и внедрения цифровых технологий на предприятиях и в экосистемах рассматривались методы анализа структуры рынка, сопоставления динамики показателей развития процессов цифровизации промышленности и предприятий (экосистем).

Для оценки цифрового потенциала и цифровой зрелости предприятий и экосистем применялись методы иерархического комплексирования интегральных показателей.

Материалами исследований выступали сведения из открытых электронных источников, данные статистических и научных отчетов о развитии промышленности России, предприятий и экосистем.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Исследования проведены применительно к промышленному предприятию и экосистеме в несколько этапов.

*В части промышленного предприятия:*

- на первом этапе была рассмотрена последовательность цифровых преобразований бизнес-процессов, начиная с автоматизации производства и заканчивая полной цифровой трансформацией;
- на втором этапе рассмотрены подходы к определению цифрового потенциала и цифровой зрелости предприятия, а также выделены их основные субпотенциалы;
- на третьем этапе сформирована авторская методика оценки цифровой зрелости;
- на четвертом этапе выполнена апробация методики оценки цифровой зрелости и проведен анализ ее применимости при вариации исходных данных и постановки решаемой задачи.

*В части промышленной экосистемы:*

- на первом этапе представлен терминологический анализ основных используемых дефиниций: «экосистема», «промышленная экосистема», «коэволюция», «цифровой коэволюционный потенциал»;
- на втором этапе представлено структурное отображение подхода оценки цифрового коэволюционного потенциала и цифровой зрелости экосистемы;
- на третьем этапе представлена методика оценки цифровой зрелости экосистемы на основе коэволюционного потенциала.

Далее рассмотрим методику оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и промышленной экосистемы.

*Методика оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и ее апробация*

Чтобы понимать свою позицию с точки зрения качества внедрения цифровых технологий, сильных и слабых мест, предприятию необходимо рассматривать вопрос количественной оценки некоторого показателя. Анализ публикаций [11–17 и др.] и проведенные авторами исследования показали, что в настоящее время акцент для количественной оценки уровня цифровизации и цифровой трансформации предприятия сместился от цифрового потенциала к цифровой зрелости [15, 16, 24].

Представим определения и сущность основных понятий, связанных с цифровой зрелостью предприятия.

*Автоматизация производства* – процесс внедрения/применения технических средств и систем управления, освобождающих человека частично или полностью от производственной деятельности.

*Оцифровка* – процесс перевода аналоговых данных в цифровой (машиночитаемый) вид.

*Цифровизация предприятия* – процесс внедрения цифровых технологий в деятельность предприятия с целью повышения эффективности функционирования как его отдельных структурных подразделений, так и предприятия в целом. Цель цифровизации – обеспечить внедрение на предприятии современных цифровых технологий, которые повысят эффективность его деятельности. Количественная оценка цифровизации – уровень (индекс) цифровизации.

*Цифровая трансформация предприятия* – это комплексное преобразование бизнес-модели, продуктов и услуг и/или бизнес-процессов предприятия, направленное на рост конкурентоспособности предприятия и достижение его стратегических целей, а также отвечающее критерию экономической эффективности на основе реализации портфеля инициатив по внедрению цифровых технологий, использованию данных, развитию кадров, компетенций и культуры для цифровой трансформации, современных подходов к управлению внедрением цифровых решений и финансированию внедрения цифровых решений.

Цифровая трансформация предприятия обуславливает качественные преобразования бизнес-модели и/или бизнес-процессов предприятия, осуществляющего цифровизацию. Цифровая трансформация осуществляется на предприятии, на котором уже осуществлена цифровизация. То есть цифровая трансформация – это преобразования, позволяющие повысить уровень цифровизации предприятия. Цель цифровой трансформации – создать обновленную бизнес-модель организации, способную эффективно работать и устойчиво развиваться в условиях нестабильной глобальноконкурентоспособной рыночной среды. Количественная оценка цифровой трансформации – уровень (индекс) цифровой трансформации.

*Цифровая зрелость предприятия* – это свойство (характеристика) предприятия, отражающее успешность процессов цифровизации или цифровой трансформации предприятия [15]. Цифровая зрелость – это комплексный количественный показатель, отражающий степень (уровень):

- цифровизации предприятия;
- цифровой трансформации предприятия;
- цифровых способностей предприятия, которые оцениваются с помощью цифрового потенциала;
- цифровых возможностей, которые оцениваются на основе цифрового форсайта.

Цифровая зрелость предприятия также отражает результаты цифровизации или цифровой трансформации предприятия за некоторый период времени. Например, если в определенном году на предприятии не были внедрены цифровые технологии, тогда уровень его цифровизации и цифровой зрелости равен нулю. Если спустя некоторое время на предприятии внедрили цифровые технологии, изменили инфраструктуру предприятия, внедрили активное использование данных и бизнес-аналитики, повысили уровень цифровой грамотности персонала, изменили цифровую культуру предприятия и подходы к управлению внедрением цифровых решений и финансированию внедрения цифровых решений (т.е. повысили способности / цифровой потенциал



предприятия), а также сформулировали цифровое видение (миссию) предприятия и разработали стратегию цифровизации / цифровой трансформации предприятия (т.е. повысили его возможности / цифровой форсайт) – то уровень цифровой зрелости предприятия, естественно, повысился.

Тогда под цифровой зрелостью предприятия будем понимать степень (уровень) использования его цифровых способностей и возможностей за счет применения цифровых технологий во всех видах деятельности предприятия с целью повышения его экономической эффективности.

Цифровая зрелость предприятия – это оцениваемая степень цифровой трансформации направлений деятельности предприятия, приспособленности цифровой инфраструктуры к внедрению цифровых решений, а также уровень цифровых компетенций сотрудников предприятия и совершенство системы управления цифровой трансформацией, в том числе на базе сравнения с лучшими международными практиками.

Цифровая зрелость – это совокупная оценка уровня развития предприятия (объединения предприятий, экосистемы) по нескольким ключевым направлениям цифровой трансформации: цифровизация бизнес-процессов, управление на основе данных, цифровая инфраструктура, внедрение принципов клиентоцентричности, управление ценностью, поиск гипотез и разработка новых продуктов, цифровая культура и цифровое партнерство [16].

Такой подход к рассмотрению цифровой зрелости как характеристики предприятия, его оценки, которая отражает текущий уровень предприятия (объединения предприятий, экосистем) с точки зрения проникновения цифровых технологий в его работу и преобразования бизнес-процессов под цифровые решения, позволяет применять это понятие к любой компании и на основе определенных критериев давать их классификацию по уровню цифровой зрелости.

Таким образом, можно выделить основные особенности подхода к исследованию цифровой зрелости предприятия [15, 17, 23]:

- цифровая зрелость рассматривается как характеристика процессов и результатов цифровизации и цифровой трансформации предприятия с учетом его способностей осуществлять оперативную деятельность и его возможностей осуществлять эффективное развитие;
- цифровая зрелость отражает уровень, степень цифровизации (цифровой трансформации) бизнес-процессов и динамику развития цифровой среды на предприятии;
- цифровая зрелость может быть оценена количественно на основе метода иерархического комплексирования интегрального показателя.

Таким образом, предприятие может практически игнорировать цифровые технологии, использовать в своих бизнес-процессах бумажный документооборот – и его уровень цифровой зрелости будет нулевым. С другой стороны, предприятие может полностью преобразовать свою бизнес-модель в ходе цифровой трансформации, и уровень его цифровой зрелости в таком случае будет достаточно высоким, что позволит ему получить ряд конкурентных преимуществ в своей отрасли.

С учетом изложенного, подход для оценки уровня цифровой зрелости предприятия использует текущие возможности (цифровой потенциал), которыми располагает предприятие и на основе которых можно повысить уровень его цифровой зрелости с целью получения конкурентных преимуществ и улучшения его работы, а также будущие способности (цифровой форсайт) по отношению к повышению уровня цифровой зрелости (рис. 1).

В соответствии с данным подходом цифровой потенциал представляет собой «настоящее» – т.е. текущие возможности и ресурсы предприятия, в то время как цифровой форсайт направлен в первую очередь на «будущее» – т.е. отражает глобальную цель предприятия при проведении цифровой трансформации и шаги, необходимые для ее реализации.

При этом и цифровой потенциал предприятия, и его цифровой форсайт включают в себя ряд отдельных субпотенциалов, определенных авторами в [17].

При таком подходе разные сферы деятельности предприятия рассматриваются отдельно. К примеру, предприятие может иметь хорошо развитое производственное направление, в котором



Рис. 1. Сущность и структурные элементы цифровой зрелости предприятия

Fig. 1. Essence and structural elements of the digital maturity of the enterprise

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

Методика оценки цифровой зрелости промышленного предприятия включает [15, 17]:

- сбор, анализ и систематизацию исходных данных;
- обоснование научно-методического подхода оценки;
- выбор метода оценки цифрового потенциала и цифровой зрелости;
- апробацию и исследование инвариантности методики;
- анализ полученных с помощью методики результатов.

Цифровую зрелость можно рассматривать как сумму выявленных субпотенциалов цифрового потенциала и цифрового форсайта, взвешенных по силе их воздействия на процесс цифровой трансформации [15]:

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

где  $W$  – интегральный показатель, отражающий цифровую зрелость предприятия;  $W_1$  – комплексный показатель, отражающий факторы цифрового потенциала;  $W_2$  – комплексный показатель, отражающий факторы цифрового форсайта;  $a$  и  $b$  – веса каждой из групп факторов.

Применение весовых коэффициентов необходимо, чтобы учесть силу влияния каждой из группы факторов. Кроме того, очевидно, что для предприятий различных отраслей существует своя специфика, которую следует учитывать. Например, в каких-то случаях государство оказывает огромное влияние на рынок, жестко его контролирует, а где-то предприятия практически полностью (насколько это возможно) зависят только от своих собственных действий.

Для каждого отдельно взятого субпотенциала ( $L$ ) будет действовать тот же принцип оценки [15]:

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

где  $L$  – интегральная оценка соответствующего субпотенциала;  $L_1, L_2, L_3, L_4$  – отдельно взятые показатели в каждом из субпотенциалов;  $a, b, c, d$  – веса каждого отдельно взятого показателя в зависимости от силы оказываемого им влияния на общий результат.

В рамках исследований для оценки весовых коэффициентов субпотенциалов и отдельных показателей был применен метод экспертной оценки. Полученное итоговое значение уровня цифровой зрелости в рамках методики интерпретировалось следующим образом:

- $W \geq 0,75$  – высокий уровень цифровой зрелости предприятия;
- $0,50 \leq W \leq 0,74$  – средний уровень цифровой зрелости предприятия;
- $0,25 \leq W \leq 0,49$  – низкий уровень цифровой зрелости предприятия;

$W \leq 0,25$  – отсутствие цифровой зрелости предприятия.

Далее рассмотрим методику расчета уровня цифровой зрелости предприятия.

1. На основе экспертной оценки для рассматриваемого предприятия были выявлены следующие значения и веса субпотенциалов цифрового форсайта (табл. 1) и субпотенциалов цифрового потенциала (табл. 2).

**Таблица 1. Значения и веса субпотенциалов цифрового форсайта предприятия (составлено авторами)**  
**Table 1. Values and weights of subpotentials of the digital foresight of the enterprise (compiled by the authors)**

№	Субпотенциал	Значение (от 0 до 1)	Вес субпотенциалов
1	Цифровое видение предприятия	0,70	20%
2	Миссия компании	0,80	15%
3	Целеполагание	0,90	15%
4	Управление ценностью продуктов и услуг	0,40	10%
5	Брендинг продуктов	0,50	10%
6	Стратегия цифровизации / цифровой трансформации	0,80	30%
Общий вес:			100%

Можно отметить, что наиболее значимыми параметрами с точки зрения форсайта для рассматриваемого предприятия являются стратегия цифровой трансформации и цифровое видение (вес 30% и 20% соответственно). При этом данные субпотенциалы имеют достаточно высокие значения – 0,8 и 0,7 соответственно.

Наиболее сильной стороной предприятия является целеполагание (значение 0,9), при этом ощутимо отстают управление ценностью продуктов и услуг и брендинг продуктов, что во многом связано со спецификой работы предприятия и отражено в наиболее низком весе данных субпотенциалов (10% для каждого).

**Таблица 2. Значения и веса субпотенциалов цифрового потенциала предприятия (составлено авторами)**  
**Table 2. Values and weights of subpotentials of the digital potential of the enterprise (compiled by the authors)**

№	Субпотенциал	Значение (от 0 до 1)	Вес субпотенциалов
1	Материально-техническое направление	0,76	25%
2	Финансово-экономическое направление	0,76	20%
3	Инновационное направление	0,41	10%
4	Организационно-управленческое направление	0,59	10%
5	Кадровая политика	0,78	15%
6	Инфраструктурное направление	0,86	10%
7	Информационное направление и сфера IT	0,74	10%
Общий вес:			100%

Наиболее значимыми субпотенциалами цифрового потенциала для предприятия являются материально-техническое и финансово-экономическое направления (вес 25% и 20% соответственно). При этом данные направления имеют и достаточно высокие значения – 0,76, что говорит об их относительно высокой развитости. Также наиболее развитым является субпотенциал инфраструктурного направления предприятия (значение 0,86), который, однако, имеет не очень высокий вес – на уровне 10%, как и несколько других параметров.

Результаты расчета для субпотенциалов цифрового потенциала представлены в табл. 3.

**Таблица 3. Результаты определения значений  
субпотенциалов цифрового потенциала предприятия (составлено авторами)  
Table 3. Results of determining the values  
of subpotentials of the digital potential of the enterprise (compiled by the authors)**

№	Показатели			
1	Материально-техническое направление	Значение	Вес	Итоговое значение
	стоимость основных средств	0,90	40%	0,36
	обеспеченность оборотными средствами	0,70	40%	0,28
	стоимость нематериальных активов	0,60	20%	0,12
			100%	0,76
2	Финансово-экономическое направление	Значение	Вес	Итоговое значение
	уровень затрат на приобретение технологий, машин и оборудования	0,80	50%	0,4
	стоимость собственных финансовых ресурсов	0,80	40%	0,32
	чистая прибыль	0,40	10%	0,04
			100%	0,76
3	Инновационное направление	Значение	Вес	Итоговое значение
	затраты на проведение инноваций и НИОКР	0,50	70%	0,35
	количество новых видов продукции за определенное время	0,20	30%	0,06
			100%	0,41
4	Организационно-управленческое направление	Значение	Вес	Итоговое значение
	«высота» организационной структуры	0,30	20%	0,06
	загруженность менеджмента	0,60	30%	0,18
	система мотивации работников	0,70	50%	0,35
			100%	0,59
5	Кадровая политика	Значение	Вес	Итоговое значение
	количество работников	0,90	40%	0,36
	готовность сотрудников к принятию изменений	0,70	25%	0,175
	уровень качества подготовки сотрудников компании	0,70	35%	0,245
			100%	0,78
6	Инфраструктурное направление	Значение	Вес	Итоговое значение
	доступность сырья и природных ресурсов	0,90	80%	0,72
	уровень развития образовательной структуры	0,70	20%	0,14
			100%	0,86
7	Информационное направление и сфера IT	Значение	Вес	Итоговое значение
	обеспечение сотрудников персональным компьютером	0,80	70%	0,56
	использование цифровых технологий	0,60	30%	0,18
			100%	0,74

На основе данных табл. 1–3 был рассчитан интегральный показатель цифровой зрелости. При этом при расчете использовались три разные формулы, представленные ниже:

1) с использованием среднего взвешенного арифметического:

$$L = \sum_{j=1}^n L_j * \beta_j; \quad (3)$$

2) с использованием среднего взвешенного геометрического:

$$L = \sqrt[\beta]{L_1^{\beta_1} * L_2^{\beta_2} * L_3^{\beta_3} * \dots * L_n^{\beta_n}}; \quad (4)$$

3) с использованием среднего взвешенного гармонического:

$$L = \frac{\sum \beta}{\sum \frac{1}{L_j} * \beta_j}, \quad (5)$$

где  $L$  – это значение субпотенциала;  $\beta$  – вес  $j$ -й группы показателей;  $n$  – количество субпотенциалов.

Итоговые значения интегрального показателя цифровой зрелости, рассчитанные по каждой из формул, представлены в табл. 4.

**Таблица 4. Интегральный показатель цифровой зрелости предприятия (составлено авторами)**

**Table 4. Integral indicator of digital maturity of the enterprise (compiled by the authors)**

Группа показателей	Значение арифметическое	Значение геометрическое	Значение гармоническое	Вес направления
Цифровой потенциал	0,719	0,706	0,690	0,8
Цифровой форсайт	0,725	0,706	0,683	0,2
Цифровая зрелость	0,720	0,706	0,689	

При расчете общего уровня цифровой зрелости использовались весовые коэффициенты 0,8 для цифрового потенциала и 0,2 для цифрового форсайта в связи с тем, что для рассматриваемого предприятия важнее «настоящее», его текущие возможности и ресурсы, чем его видение «будущего». Тем не менее это не значит, что данная группа факторов не имеет никакого влияния на итоговый результат.

2. Предположим, что рассматриваемому предприятию были бы важнее брендинг продуктов и управление ценностью продуктов и услуг, а не его цифровая стратегия с точки зрения форсайта (вес данных субпотенциалов был бы выше, на уровне 30% и 25% соответственно), а также организационно-управленческое направление и кадровая политика при рассмотрении цифрового потенциала (предположим их вес 20% и 30% соответственно). Эти изменения отражены в табл. 5 и 6.

Можно заметить, что при таких условиях значения по цифровому потенциалу в целом немного снизятся в сравнении с изначальными условиями (0,7 против 0,719), однако наибольшее изменение будет происходить с точки зрения цифрового форсайта – 0,610 против 0,725 изначально. Это связано с тем, что больший вес стали иметь параметры, значения которых находятся на относительно низком уровне в связи с особенностями предприятия. Итоговые цифры при новых условиях продемонстрированы в табл. 7.

**Таблица 5. Значения и веса субпотенциалов цифрового форсайта предприятия при изменении веса параметров (составлено авторами)**

**Table 5. Values and weights of subpotentials of the digital foresight of the enterprise when changing the weight of the parameters (compiled by the authors)**

№	Субпотенциал	Значение (от 0 до 1)	Вес субпотенциалов
1	Цифровое видение предприятия	0,70	10%
2	Миссия компании	0,80	10%
3	Целеполагание	0,90	10%
4	Управление ценностью продуктов и услуг	0,40	25%
5	Брендинг продуктов	0,50	30%
6	Стратегия цифровизации / цифровой трансформации	0,80	15%
Общий вес:			100%

**Таблица 6. Значения и веса субпотенциалов цифрового потенциала предприятия при изменении веса параметров (составлено авторами)**

**Table 6. Values and weights of subpotentials of the digital potential of the enterprise when changing the weight of the parameters (compiled by the authors)**

№	Субпотенциал	Значение (от 0 до 1)	Вес субпотенциалов
1	Материально-техническое направление	0,76	10%
2	Финансово-экономическое направление	0,76	15%
3	Инновационное направление	0,41	10%
4	Организационно-управленческое направление	0,59	20%
5	Кадровая политика	0,78	30%
6	Инфраструктурное направление	0,86	5%
7	Информационное направление и сфера IT	0,74	10%
Общий вес:			100%

**Таблица 7. Интегральный показатель цифровой зрелости предприятия при изменении веса параметров (составлено авторами)**

**Table 7. Integral indicator of digital maturity of the enterprise when changing the weight of the parameters (compiled by the authors)**

Группа показателей	Значение арифметическое	Значение геометрическое	Значение гармоническое	Вес направления
Цифровой потенциал	0,700	0,687	0,671	0,8
Цифровой форсайт	0,610	0,583	0,558	0,2
Цифровая зрелость	0,682	0,666	0,649	

Итоговые значения цифровой зрелости в изначальном условии равнялись 0,720 – после изменений находятся на уровне 0,682, т.е. несколько снизились из-за увеличения веса субпотенциалов с меньшими значениями.

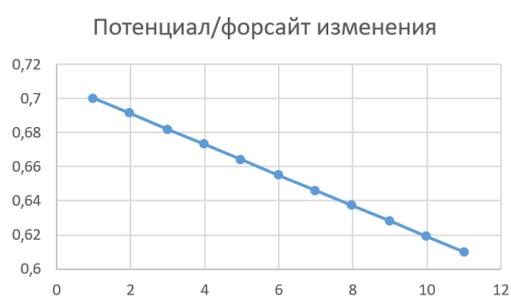


Рис. 2. Сопоставление значений цифровой зрелости при изменении веса групп показателей цифрового потенциала и цифрового форсайта, среднее взвешенное арифметическое

Fig. 2. Comparison of digital maturity values when changing the weight of the groups of indicators of digital potential and digital foresight, weighted arithmetic mean

3. Предположим, что помимо другой значимости (веса) этих субпотенциалов предприятие по-другому оценивало бы вес цифрового потенциала и форсайта в целом, например, если бы для предприятия «будущее» направление имело бы большее значение. Или же, напротив, для предприятия форсайт вовсе не имел бы значение и вес данной группы субпотенциалов находился бы на уровне нуля.

Изменения общего интегрального показателя цифровой зрелости при таких изменениях продемонстрированы в табл. 8 с шагом в 10%.

**Таблица 8. Сопоставление значений цифровой зрелости при изменении веса групп показателей цифрового потенциала и цифрового форсайта (с шагом в 10%) (составлено авторами)**  
**Table 8. Comparison of digital maturity values when changing the weight of the groups of indicators of digital potential and digital foresight (in increments of 10%) (compiled by the authors)**

Соотношение веса групп показателей потенциал/форсайт	Значение арифметическое	Значение геометрическое	Значение гармоническое
100%/0%	0,7	0,687	0,671
90%/10%	0,691	0,677	0,660
80%/20%	0,682	0,666	0,649
70%/30%	0,673	0,656	0,637
60%/40%	0,664	0,646	0,626
50%/50%	0,655	0,635	0,615
40%/60%	0,646	0,625	0,603
30%/70%	0,637	0,614	0,592
20%/80%	0,628	0,604	0,581
10%/90%	0,619	0,594	0,570
0%/100%	0,61	0,583	0,558

Можно отметить, что при таких условиях чем выше вес показателей цифрового потенциала, тем выше общий уровень цифровой зрелости, что связано в среднем с большими значениями значимых параметров в данной группе в сравнении с субпотенциалами цифрового форсайта.

Динамика этих изменений представлена на рис. 2 и 3.

4. Предположим, что предприятие имело бы в среднем более высокие значения субпотенциалов цифрового потенциала и более низкие значения для цифрового форсайта. В таком случае итоговые значения цифровой изменились бы следующим образом (табл. 9).

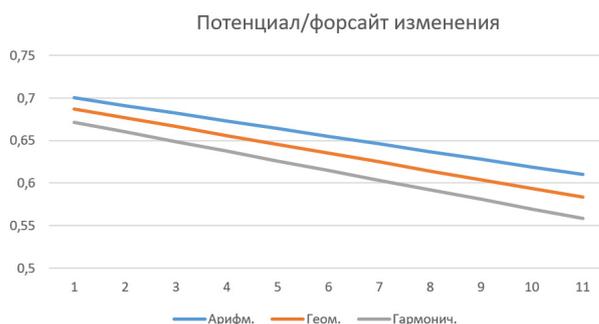


Рис. 3. Сопоставление значений цифровой зрелости при изменении веса групп показателей цифрового потенциала и цифрового форсайта с использованием разных формул среднего взвешенного

Fig. 3. Comparison of digital maturity values when changing the weight of the groups of indicators of digital potential and digital foresight using different weighted mean formulas

**Таблица 9. Интегральный показатель цифровой зрелости предприятия при уменьшении значений форсайта и увеличении значений цифрового потенциала (составлено авторами)**  
**Table 9. Integral indicator of digital maturity of the enterprise with a decrease in the values of foresight and an increase in the values of digital potential (compiled by the authors)**

Группа показателей	Значение арифметическое	Значение геометрическое	Значение гармоническое	Вес направления
Цифровой потенциал	0,767	0,758	0,746	0,8
Цифровой форсайт	0,595	0,572	0,551	0,2
Цифровая зрелость	0,733	0,721	0,707	

Можно отметить, что при таких условиях значение цифровой зрелости составляет 0,733 против 0,720 в изначальном условии, что связано с тем, что вес группы показателей цифрового потенциала значительно выше, чем цифрового форсайта (0,8 против 0,2), – поэтому значения этих показателей намного важнее для предприятия.

Сопоставление значений цифровой зрелости при уменьшении значений форсайта и увеличении значений цифрового потенциала с использованием разных формул среднего взвешенного представлено на рис. 4.

5. Предположим, что для предприятия не рассматривалось бы организационно-управленческое направление – при этом его вес был бы равномерно распределен между остальными субпотенциалами цифрового потенциала.

Все остальные условия совпадают с подпунктом 2. В таком случае показатели цифрового потенциала, форсайта и цифровой зрелости в целом имели бы следующий вид (табл. 10, 11 и 12).

Можно отметить, что в сравнении с условиями в подпункте 3 итоговое значение цифровой зрелости, среднее взвешенное арифметическое, равняется 0,704 против 0,682 до изменений.

При применении других формул подсчет сохраняется и наблюдается аналогичная тенденция (рис. 5).

Подобные результаты связаны с тем, что данное направление имело достаточно высокий вес, при этом его значение для предприятия находилось на низком уровне (вес 20% и значение 0,59), поэтому при распределении веса этого параметра между показателями с большими значениями они повлияли и на итоговый показатель цифровой зрелости в сторону увеличения.

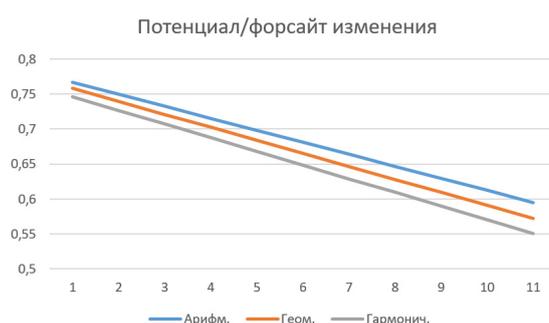


Рис. 4. Сопоставление значений цифровой зрелости при уменьшении значений форсайта и увеличении значений цифрового потенциала с использованием разных формул среднего взвешенного

Fig. 4. Comparison of digital maturity values with a decrease in the values of foresight and an increase in the values of digital potential using different weighted mean formulas

**Таблица 10. Значения и веса субпотенциалов цифрового форсайта предприятия при отсутствии организационно-управленческого направления (составлено авторами)**

**Table 10. Values and weights of subpotentials of digital foresight of the enterprise in the absence of an organizational and managerial direction (compiled by the authors)**

№	Субпотенциал	Значение (от 0 до 1)	Вес субпотенциалов
1	Цифровое видение предприятия	0,70	10%
2	Миссия компании	0,80	10%
3	Целеполагание	0,90	10%
4	Управление ценностью продуктов и услуг	0,40	25%
5	Брендинг продуктов	0,50	30%
6	Стратегия цифровизации / цифровой трансформации	0,80	15%
Общий вес:			100%

**Таблица 11. Значения и веса субпотенциалов цифрового потенциала предприятия при отсутствии организационно-управленческого направления (составлено авторами)**

**Table 11. Values and weights of subpotentials of digital potential of the enterprise in the absence of an organizational and managerial direction (compiled by the authors)**

№	Субпотенциал	Значение (от 0 до 1)	Вес субпотенциалов
1	Материально-техническое направление	0,76	13%
2	Финансово-экономическое направление	0,76	19%
3	Инновационное направление	0,41	13%
4	Кадровая политика	0,78	38%
5	Инфраструктурное направление	0,86	6%
6	Информационное направление и сфера IT	0,74	13%
			100%

#### *Методика оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы*

Прежде чем представить методику оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы, рассмотрим основные положения в области теории экосистем применительно к экономике и промышленности.

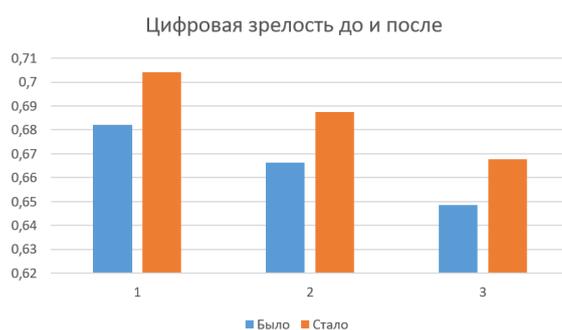


Рис. 5. Сопоставление значений цифровой зрелости с учетом организационно-управленческого направления и без него  
Fig. 5. Comparison of the values of digital maturity with the organizational and managerial direction and without it

**Таблица 12. Интегральный показатель цифровой зрелости предприятия при отсутствии организационно-управленческого направления (составлено авторами)**  
**Table 12. Integral indicator of digital maturity of the enterprise in the absence of an organizational and managerial direction (compiled by the authors)**

Группа показателей	Значение арифметическое	Значение геометрическое	Значение гармоническое	Вес направления
Цифровой потенциал	0,728	0,714	0,695	0,8
Цифровой форсайт	0,610	0,583	0,558	0,2
Цифровая зрелость	0,704	0,688	0,668	

Под системой в общем смысле авторы понимают совокупность элементов, обладающих свойством целостности и эмерджентности [18]. Концепция экосистем появилась в области исследования биосферы. Идея схожести биологической (живой), физической (неживой) и технической (искусственной) сфер возникла в тот момент, когда научно-технологический прогресс экспоненциально повысил сложность систем и позволил приблизить разнообразие выпускаемых изделий к природному видовому разнообразию, мощности популяции. Идея применения понятий биологии для описания и прогнозирования больших систем, в том числе экономических, положена в основу ценологической теории [19].

Одно из первых определений экосистемы было предложено Р. Линдеманом, который описал ее как «совокупность живых организмов и их абиотической среды, взаимодействующих как функциональное целое» [20]. О. Одум, американский эколог, определил экосистему как «базовую единицу экологии, включающую в себя сообщество и его неживую окружающую среду, взаимодействующие в цикле материи и потоке энергии» [21].

Экосистема – это гетерогенный, разнородный «набор акторов с различной степенью многосторонней, негенетической взаимодополняемости, которые не полностью иерархически контролируются» [22]. Под акторами в данном контексте понимаются лица или организации, выполняющие одну или несколько ролей. В экосистеме могут быть выделены роли оператора, оркестратора и т.д. Другими словами, экосистема – это «экономическое сообщество, которое состоит из совокупности взаимосвязанных организаций и физических лиц. Экономическое сообщество производит товары и услуги, ценные для потребителя, которые также являются частью экосистемы»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Системы распределенного реестра» (2019). Москва. [online] Available at: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019srr.pdf> [Accessed 09.08.2024]. (in Russian).



Представим авторское определение экосистемы на основе [23, 24]. Экосистема – это сложная эволюционирующая когерентная мультиакторная сеть субъектов, не управляемых иерархически, действующих одновременно в логике автономности и взаимосвязанности, отличающихся своими убеждениями и принципами принятия стратегических решений, целью которых является создание на основе ценностного подхода и самоорганизации совокупности продуктов и услуг.

Отличительными чертами экосистемы являются [15, 24]:

- отсутствие централизованной системы управления; замена вертикали власти одноранговыми отношениями между акторами;
- равенство возможностей для всех акторов; коллективное целеполагание; каждый актор проявляет инициативу и реагирует ради собственной выгоды или прибыли;
- стремление к устойчивости на основе гомеостаза: самоадаптации, самоограничений, самоорганизации и самововлечения; когерентность;
- непостоянный и меняющийся состав акторов, минимум барьеров для входа и выхода;
- эмерджентное поведение акторов как функций и целей, выполняемых и осуществляемых системой, которые не содержатся ни в одном из ее компонентов;
- взаимодействие между акторами на основе как конкуренции, так и новых форм предконкурентного и совместного партнерства.

Концепция промышленных экосистем получила достаточно широкое освещение в современных исследованиях [25–30 и др.]. Уникальные свойства промышленных экосистем позволяют рассматривать их в качестве перспективных форм устойчивого промышленного перехода к Индустрии 5.0, формирования технологического суверенитета и ответа на новые большие вызовы.

Пионерская работа Р. Фроша и Н. Галлопулоса 1989 года представила промышленные экосистемы с позиции промышленного симбиоза в контексте промышленной экологии [31]. Классическое понимание промышленной экосистемы включает ее описание как модели промышленной деятельности, представляющей собой локализованные социально-экономические формации, которые обеспечивают устойчивое развитие посредством рециркуляции входных и выходных ресурсов на основе методов промышленного симбиоза [32].

Промышленную экосистему авторы рассматривают как сложную систему экономических акторов, действующих на основе единой платформы, отличающихся своими видами деятельности и особенностями функционирования, целью которых является создание на основе принципов эмерджентности и коэволюции промышленной продукции и/или услуг [23, 24].

Объединяющим началом, сутью представленных исследований экосистемной сущности является принцип коэволюции [33–35], присущий любой экосистеме. Во фронтире экосистемы происходит совместное, координированное и согласованное развитие, эволюция различных взаимодействующих акторов на разных иерархических уровнях. Свойство коэволюции в 1960-х гг. послужило основой зарождения теории устойчивого развития как «коэволюции человека и биосферы» [36].

Коэволюция в экономике промышленности применительно к экосистеме – это конвергентная (интегративная) адаптация процессов (ресурсов) акторов экосистемы к внешним/внутренним воздействующим факторам на основе коллаборации и взаимовыгодного сотрудничества (преимущественно мутуализма как формы симбиоза), обеспечивающая формирование синергетического эффекта и повышение устойчивости развития экосистемы.

Коэволюция экосистемы в экономике (промышленности), в отличие от предприятия, обусловлена процессами конвергенции и/или интеграции, сотрудничества и коллаборации, адаптации к внешним и внутренним факторам, резильентности на основе принципов мутуализма (как элемента симбиоза), что предполагает появление синергетического эффекта и повышение устойчивости развития экосистемы (рис. 6).

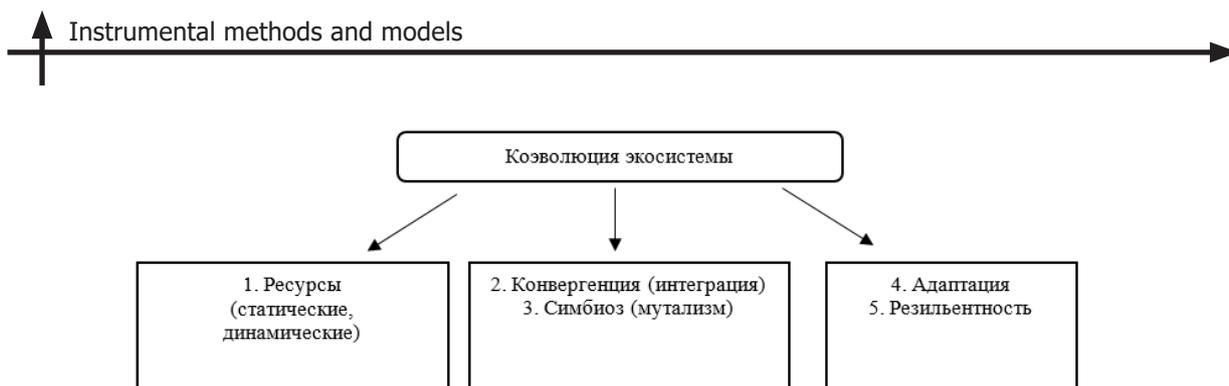


Рис. 6. Основные атрибуты процесса коэволюции экосистемы  
Fig. 6. The main attributes of the ecosystem coevolution process

Данный вывод позволил авторам применительно к промышленной экосистеме при оценке уровня цифровизации и цифровой зрелости использовать понятие цифрового коэволюционного потенциала.

Для дальнейшего рассмотрения цифрового коэволюционного потенциала представим генезис данного конструкта и его понятие.

Концепция коэволюционного потенциала, рассмотренная через многогранные философские, экологические, биологические, социологические и экономические аспекты, обнаруживает глубокую взаимосвязь, выходящую за пределы дисциплинарных границ.

В философской сфере, с точки зрения Л. Оливарес [37], коэволюционный потенциал включает в себя трансформационные взаимодействия между человеческой идентичностью и технологической аугментацией, предполагая радикальную реконфигурацию самости и телесности, что перекликается с темами расположенного знания и реляционной онтологии.

С экологической точки зрения коэволюционный потенциал проявляется в адаптивных реакциях видов на динамическое давление окружающей среды и межвидовое взаимодействие [38–39].

В биологической сфере коэволюционный потенциал изучается через генетические и фенотипические адаптации при взаимодействии различных видов [40, 41].

С социологической точки зрения коэволюционный потенциал охватывает динамическое взаимодействие между человеческими обществами и окружающей средой, особенно в контексте резильентности и устойчивости [42–44].

С экономической точки зрения коэволюционный потенциал осмысливается через призму технологических и организационных инноваций. Коэволюционный потенциал, по своей сути основанный на взаимных адаптивных изменениях между взаимодействующими субъектами, соответствует принципам промышленного симбиоза.

Эти симбиотические отношения, схожие с биологическим мутуализмом, порождают, в том числе, и экономическую взаимозависимость во взаимовыгодном обмене ресурсами, энергией и информацией. В контексте промышленного симбиоза коэволюционный потенциал подчеркивает итеративные процессы, в ходе которых промышленные акторы адаптируются и коадаптируются, что приводит к оптимальному использованию ресурсов и минимизации отходов. Взаимный характер этих адаптаций способствует формированию устойчивой промышленной экосистемы, способной реагировать на социальные, экологические, экономические и технологические изменения.

На основе проведенного анализа и терминологической сущности понятий в области экосистем и коэволюции дадим авторское определение цифрового коэволюционного потенциала промышленной экосистемы. Это свойство экосистемы, представляющее собой интегральную способность экосистемы к адаптивной и синергетической эволюции в контексте промышленной экосистемы, характеризующейся такой облигатной формой промышленного симбиоза, как мутуализм, или взаимовыгодное сотрудничество и коллаборация между акторами.

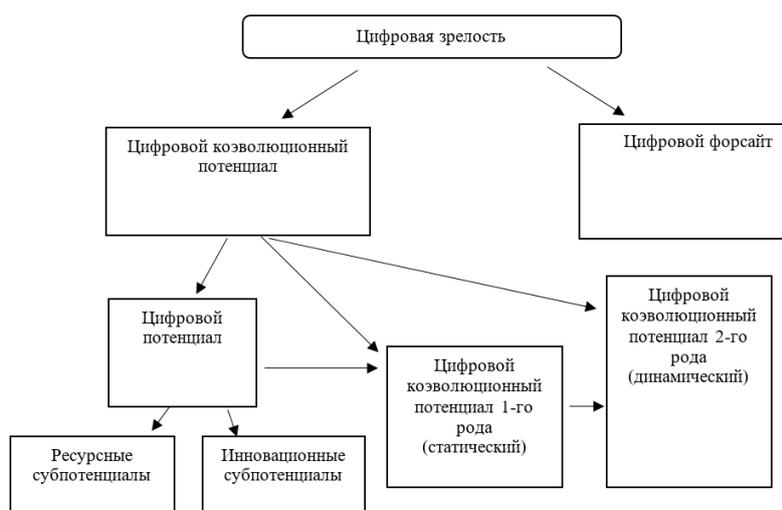


Рис. 7. Структурное отображение подхода оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы на основе коэволюционного потенциала  
 Fig. 7. Structural representation of the approach to assessing the digital maturity of an industrial ecosystem based on coevolutionary potential

Этот потенциал проявляется через повышение адаптивности, резильентности и устойчивости экосистемы к внешним и внутренним изменениям, что достигается благодаря высокому уровню интеграции и координации цифровых процессов, а также инновационной активности, поддерживаемой мультидисциплинарным подходом.

Таким образом, при оценке коэволюционного потенциала в дополнение к цифровому потенциалу необходимо учитывать следующие процессы:

- конвергентности (интеграции);
- мутуализма как формы симбиоза (взаимовыгодного сотрудничества);
- адаптации (резильентности) к внешним и внутренним воздействующим факторам;
- устойчивости.

Первые два процесса будем исследовать применительно к статической операционной деятельности экосистемы. В этом случае будем рассматривать *цифровой коэволюционный потенциал 1-го рода (статический)*.

Последующие два процесса будем анализировать применительно к динамическому развитию экосистемы. В этом случае будем рассматривать *цифровой коэволюционный потенциал 2-го рода (динамический)*.

В соответствии с изложенным, методический подход для оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы на основе коэволюционного потенциала представлен на рис. 7.

Используя данный методический подход, представим методику оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы.

Методика оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы реализуется в несколько этапов.

*На первом этапе* производится сбор, анализ и систематизация исходных данных для оценки промышленной экосистемы.

*На втором этапе* производится оценка цифрового потенциала экосистемы с использованием ресурсных и инновационных субпотенциалов по аналогии с оценкой цифрового потенциала промышленного предприятия. С этой целью используются математические выражения (2)–(5).

*На третьем этапе* производится оценка цифрового коэволюционного потенциала промышленной экосистемы 1-го рода:

$$W_{1кэ} = W_1 K_1 K_2, \quad (6)$$

где  $W_{1кэ}$  – цифровой коэволюционный потенциал 1-го рода, отражающий факторы цифрового потенциала и процессы конвергенции и мутуализма (симбиоза);  $W_1$  – комплексный показатель, отражающий факторы цифрового потенциала;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий процессы конвергенции (интеграции);  $K_2$  – коэффициент, учитывающий процессы симбиоза (мутуализма).

На четвертом этапе производится оценка цифрового коэволюционного потенциала промышленной экосистемы 2-го рода:

$$W_{2кэ} = W_{1кэ} K_3 K_4, \quad (7)$$

где  $W_{2кэ}$  – цифровой коэволюционный потенциал 2-го рода, отражающий факторы цифрового потенциала и процессы адаптации и резильентности;  $W_{1кэ}$  – цифровой коэволюционный потенциал 1-го рода;  $K_3$  – коэффициент, учитывающий процессы адаптации к внешним и внутренним факторам;  $K_4$  – коэффициент, учитывающий процессы резильентности.

На пятом этапе с учетом оценки цифрового форсайта производится оценка цифровой зрелости промышленной экосистемы:

$$W = aW_{2кэ} + bW_2, \quad (8)$$

где  $W$  – интегральный показатель, отражающий цифровую зрелость промышленной экосистемы;  $W_{2кэ}$  – цифровой коэволюционный потенциал 2-го рода;  $W_2$  – комплексный показатель, отражающий факторы цифрового форсайта;  $a$  и  $b$  – веса каждой из групп факторов.

На шестом этапе производится применение методики, анализируются полученные результаты и разрабатываются предложения по ее совершенствованию.

В качестве вывода можно отметить, что в процессе оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы использование коэволюционного потенциала дает возможность повысить достоверность (точность) оценки, а также управлять способностью экосистемы к устойчивому развитию и адаптации в условиях цифровой трансформации экономики и промышленности.

### Заключение

Таким образом, можно отметить, что концепция цифровой зрелости предприятия и экосистемы находится на стадии активной разработки и развития. Наиболее проработанным подходом выглядит представление цифровой зрелости как совокупной оценки уровня внедрения и использования цифровых технологий, начиная с их полного отсутствия (цифровая зрелость равна нулю), затем переходя к промежуточным этапам автоматизации и цифровизации, в ходе которых предприятие и экосистема повышают свои конвергентность, гибкость, мутуализм, адаптивность к изменениям рынка, резильентность, и заканчивая полной цифровой трансформацией, преобразующей работу хозяйствующего субъекта на всех уровнях, при которой цифровая зрелость будет максимальной.

В ходе исследования получены следующие основные результаты:

1. Уточнен терминологический аппарат в части дефиниций «экосистема», «промышленная экосистема», «цифровой коэволюционный потенциал», «цифровая зрелость».
2. Представлен научно-методический подход для оценки цифрового потенциала промышленного предприятия и коэволюционного потенциала промышленной экосистемы.
3. Разработана методика оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и методика оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы на основе цифрового коэволюционного потенциала.

### Направления дальнейших исследований

В ходе дальнейшего исследования предполагается уточнить процедуру оценки коэволюционного потенциала экосистемы и проанализировать применимость методики оценки цифровой зрелости для хозяйствующих субъектов различных отраслей экономики.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Михайлов П.А., Бабкин А.В. (2022) Факторы и показатели оценки цифровой трансформации промышленного предприятия. *Universum: экономика и юриспруденция*, 9 (96), 12–16. DOI: <https://doi.org/10.32743/UniLaw.2022.96.9.14137>
2. Babkin A., Shkarupeta E., Kabasheva I., Rudaleva I., Vicentiy A.A. (2022) Framework for Digital Development of Industrial Systems in the Strategic Drift to Industry 5.0. *International Journal of Technology*, 13 (7), 1373–1382. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i7.6193>
3. Володин В.М., Надькина Н.А. (2019) Внедрение цифровых технологий на предприятиях сельского хозяйства на современном этапе развития агропромышленного комплекса России. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Экономические науки*, 2 (10), 13–22. DOI: <https://doi.org/10.21685/2309-2874-2019-2-2>
4. Строев В.В. (2022) Анализ внедрения технологий цифровизации в российских компаниях. *Управленческий учет*, 11 (2), 611–620. DOI: <https://doi.org/10.25806/uu11-22022611-620>
5. Бабкин А.В., Буркальцева Д.Д., Костень Д.Г., Воробьев Ю.Н. (2017) Формирование цифровой экономики в России: сущность, особенности, техническая нормализация, проблемы развития. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*, 10 (3), 9–25. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.10301>
6. Скляр М.А., Кудрявцева К.В. (2019) Цифровизация: основные направления, преимущества и риски. *Экономическое возрождение России*, 3 (61), 103–114.
7. Землянский О. А. (2022) Направления, преимущества и определение эффективности внедрения цифровых технологий. *Вестник университета*, 4, 48–57. DOI: <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2022-4-48-57>
8. Назарова А.Д., Сулимин В.В. (2023) Автоматизация процессов в бизнесе: преимущества и риски. *Столтыпинский вестник*, 5, 2221–2230.
9. Kuladzhii T.V., Babkin A.V., Murtazaev S.A. (2017) Enhancing personnel training for the industrial and economic complex in the conditions of the digital economy. *2017 IEEE VI Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovations) (SPUE)*, 67–70. DOI: <https://doi.org/10.1109/IVForum.2017.8246053>
10. Турковский С.Р. (2023) Оцифровка, цифровизация и цифровая трансформация в контексте инновационного развития и организационно-управленческих инноваций. *Экономическая наука сегодня: сборник научных статей*, 17, 186–195. DOI: <https://doi.org/10.21122/2309-6667-2023-17-186-195>
11. Кричевский М.Л., Мартынова Ю.А., Дмитриева С.В. (2022) Оценка цифровой зрелости предприятия. *Вопросы инновационной экономики*, 12 (4), 2545–2560. DOI: <https://doi.org/10.18334/vines.12.4.116786>
12. Демура Н.А., Путивцева Н.П. (2021) Цифровизация: сущность и роль в развитии национальной экономики. *Научный результат. Экономические исследования*, 1, 22–30. DOI: <https://doi.org/10.18413/2409-1634-2021-7-1-0-3>
13. Ценжарик М.К., Крылова Ю.В., Стешенко В.И. (2020) Цифровая трансформация компаний: стратегический анализ, факторы влияния и модели. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, 36 (3), 390–420. DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.303>
14. Зайченко И.М., Горшечникова П.Д., Левина А.И., Дубгорн А.С. (2020) Цифровая трансформация бизнеса: подходы и определение. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент*, 2, 205–212. DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2020-13-2-205-212>
15. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Здольникова С.В. (2022) Методика оценки цифровой зрелости предприятия на основе анализа внешних и внутренних факторов. *Цифровая трансформа-*

ция экономических систем: проблемы и перспективы (ЭКОПРОМ-2022), 679–682. DOI: <https://doi.org/10.18720/IEP/2021.4/209>

16. Аленина К.А., Курицына А.В. (2024) Разработка алгоритма оценки уровня цифровой зрелости компании. *Экономика, предпринимательство и право*, 14 (4), 1057–1078. DOI: <https://doi.org/10.18334/erp.14.4.120726>

17. 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>

18. Бабкин А.В. (2013) Задачи принятия решений по развитию предпринимательских систем. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*, 3 (173), 119–130.

19. Sarayannis E.G., Campbell D.F.J. (2009). ‘Mode 3’ and ‘Quadruple Helix’: Toward a 21st century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*, 46 (3/4), 201–234. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTM.2009.023374>

20. Lindeman, R.L. (1942). The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology. *Ecology*, 23 (4), 399–418. DOI: <https://doi.org/10.2307/1930126>

21. Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology*, Philadelphia: Saunders.

22. Jacobides, M. G., Cennamo, C., Gawer, A. (2018). Towards a theory of ecosystems. *Strategic Management Journal*, 39 (8), 2255–2276. DOI: <https://doi.org/10.1002/smj.2904>

23. Глухов В.В., Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. (2021) Стратегическое управление промышленными экосистемами на основе платформенной концепции. *Экономика и управление*, 27 (10), 752–766. DOI: <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2021-10-752-766>

24. Квинт В.Л., Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. (2022) Стратегирование формирования платформенной операционной модели для повышения уровня цифровой зрелости промышленных систем. *Экономика промышленности*, 15 (3), 249–261. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-249-261>

25. Клейнер Г.Б. (2018) Промышленные экосистемы: взгляд в будущее. *Экономическое возрождение России*, 2 (56), 53–62.

26. Gileva T.A., Galimova M.P., Babkin A.V., Gorshenina M.E. (2021) Strategic management of industrial enterprise digital maturity in a global economic space of the ecosystem economy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 816 (1), art. no. 012022. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/816/1/012022>

27. Попов Е.В., Симонова В.Л., Тихонова А.Д. (2019) Структура промышленных «экосистем» в цифровой экономике. *Менеджмент в России и за рубежом*, 4, 3–11.

28. Babkin A., Shkarupeta E., Kabasheva I., Rudaleva I., Vicentiy A. (2022) Framework for Digital Development of Industrial Systems in the Strategic Drift to Industry 5.0. *International Journal of Technology*, 13 (7), 1373–1382. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i7.6193>

29. Давиденко Л.М., Беспалый С.В., Бекниязова Д.С. (2019) Ресурсная парадигма построения промышленной экосистемы цифрового формата. *Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права*, 1 (80), 58–68. DOI: <https://doi.org/10.21295/2223-5639-2020-1-58-68>

30. Гамидуллаева Л.А., Толстых Т.О., Шмелева Н.В. (2020) Методика комплексной оценки потенциала промышленной экосистемы в контексте устойчивого развития региона. *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*, 2, 29–48. DOI: <https://doi.org/10.21685/2227-8486-2020-2-3>

31. Frosch R.A., Gallopoulos N.E. (1989) Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261 (3), 144–153. DOI: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144>

32. Korhonen J. (2001) Four ecosystem principles for an industrial ecosystem. *Journal of Cleaner production*, 9 (3), 253–259. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(00\)00058-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00058-5)

33. Карпинская Р.С., Лисеев И.К., Огурцов А.П. (1995) *Философия природы: коэволюционная стратегия*, М.: Интерпракс.

34. Клейнер Г.Б. (2019) Экономика экосистем: шаг в будущее. *Экономическое возрождение России*, 1 (59), 40–45.

35. 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>



36. Моисеев Н.Н. (1997) Коэволюция природы и общества. Пути ноосферогенеза. *Экология и жизнь*, 2–3, 4–7.
37. Olivares L. (2014) Hacking the Body and Posthumanist Transbecoming: 10,000 Generations Later as the mestizaje of Speculative Cyborg Feminism and Significant Otherness. *NanoEthics*, 8, 287–297. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11569-014-0203-0>
38. Koella J.C., Offenberg J. (1999) Food availability and parasite infection influence the correlated responses of life history traits to selection for age at pupation in the mosquito *Aedes aegypti*. *Journal of Evolutionary Biology*, 12 (4), 760–769. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.1999.00071.x>
39. James T.Y. et al. (2015) Disentangling host, pathogen, and environmental determinants of a recently emerged wildlife disease: lessons from the first 15 years of amphibian chytridiomycosis research. *Ecology and Evolution*, 5 (18), 4079–4097. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.1672>
40. Fitzpatrick B.M. (2014) Symbiote transmission and maintenance of extra-genomic associations. *Frontiers in Microbiology*, 5, 46. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00046>
41. Heath K.D., Stock A.J., Stinchcombe J.R. (2010) Mutualism variation in the nodulation response to nitrate. *Journal of Evolutionary Biology*, 23 (11), 2494–2500. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2010.02092.x>
42. Aguilar-Armendariz L., Martinez-Garcia A.N. (2015) Vulnerabilities and Co-evolutionary Dynamics in Morelia Michoacan, Mexico: A Case Study. *Disaster Management: Enabling Resilience*, 317–335. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-08819-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08819-8_15)
43. Boonstra B., Rommens N. (2023) Bringing resilience together: On the co-evolutionary capacities of boundary organizations during the COVID-19 pandemic in Rotterdam. *Cities*, 140, art. no. 104420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104420>
44. Brives C., Pourraz J. (2020) Phage therapy as a potential solution in the fight against AMR: obstacles and possible futures. *Palgrave Communications*, 6, art. no. 100. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-020-0478-4>

## REFERENCES

1. Mikhailov P., Babkin A. (2022) Factors and indicators for assessing the digital transformation of an industrial enterprise. *Universum: ekonomika i iurisprudentsiia [economics and jurisprudence]*, 9 (96), 12–16. DOI: <https://doi.org/10.32743/UniLaw.2022.96.9>
2. Babkin A., Shkarupeta E., Kabasheva I., Rudaleva I., Vicentiy A.A. (2022) Framework for Digital Development of Industrial Systems in the Strategic Drift to Industry 5.0. *International Journal of Technology*, 13 (7), 1373–1382. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i7.6193>
3. Volodin V.M., Nad'kina N.A. (2019) Introduction of digital technologies at the enterprises of agriculture at the present stage of development of agroindustrial complex of Russia. *University proceedings. Volga region. Economic sciences*, 2 (10), 13–22. DOI: <https://doi.org/10.21685/2309-2874-2019-2-2>
4. Stroeve V.V. (2022) Analysis of the implementation of digitalization technologies in Russian companies. *Management Accounting*, 11 (2), 611–620. DOI: <https://doi.org/10.25806/uu11-22022611-620>
5. Babkin A.V., Burkaltseva D.D., Vorobey D.G., Kosten Yu.N. (2017) Formation of digital economy in Russia: essence, features, technical normalization, development problems. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 10 (3), 9–25. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.10301>
6. Sklyar M.A., Kudryavtseva K.V. (2019) Digitization: trends, benefits and risks. *Economic Revival of Russia*, 3 (61), 103–114.
7. Zemlyanskiy O.A. (2022) Directions, benefits, and digitalisation effectiveness determining. *Vestnik universiteta*, 4, 48–57. DOI: <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2022-4-48-57>
8. Nazarova A.D., Sulimin V.V. (2023) Automation of processes in business: Benefits and risks. *Stolypinsky Bulletin*, 5, 2221–2230.
9. Kuladzhi T.V., Babkin A.V., Murtazaev S.A. (2017) Enhancing personnel training for the industrial and economic complex in the conditions of the digital economy. *2017 IEEE VI Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovations) (SPUE)*, 67–70. DOI: <https://doi.org/10.1109/IVForum.2017.8246053>
10. Turkovsky S.R. (2023) Digitization, digitalization and digital transformation in the context of innovative development and organizational and management innovations. *Ekonomicheskaya nauka segodnia:*

*sbornik nauchnykh statei [Economic Science Today: A Collection of Scientific Articles]*, 17, 186–195. DOI: <https://doi.org/10.21122/2309-6667-2023-17-186-195>

11. Krichevskiy M.L., Martynova Yu.A., Dmitrieva S.V. (2022) Assessment of the enterprise's digital maturity. *Russian Journal of Innovation Economics*, 12 (4), 2545–2560. DOI: <https://doi.org/10.18334/vinec.12.4.116786>

12. Demura N.A., Putivtseva N.P. (2021) Digitalization: the essence and role in the development of the country's economy. *Research Result. Economic Research*, 1, 22–30. DOI: <https://doi.org/10.18413/2409-1634-2021-7-1-0-3>

13. Tsenzharik M., Krylova Yu., Steshenko V. (2020) Digital transformation in companies: Strategic analysis, drivers and models. *St Petersburg University Journal of Economic Studies (SUJES)*, 3, 390–420. DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.303>

14. Zajchenko I.M., Gorshecnikova P.D., Levina A.I., Dubgorn A.S. (2020) Digital transformation of business: approaches and definitions. *Scientific journal NRU ITMO. Series "Economics and Environmental Management"*, 2, 205–212. DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2020-13-2-205-212>

15. Babkin A.V., Mikhailov P.A., Zdolnikova S.V. (2022) Methodology for assessing the digital maturity of the enterprise based on analysis of external and internal factors. *TSifrovaia transformatsiia ekonomicheskikh sistem: problemy i perspektivy (EKOPROM-2022) [Digital transformation of economic systems: problems and prospects (ECOPROM-2022)]*, 679–682. DOI: <https://doi.org/10.18720/IEP/2021.4/209>

16. Alenina K.A., Kuritsyna A.V. (2024) Developing an algorithm to assess corporate digital maturity. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*, 14 (4), 1057–1078. DOI: <https://doi.org/10.18334/epp.14.4.120726>

17. 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>

18. Babkin A.V. (2013) The problem of decision making on the development of business systems. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 3 (173), 119–130.

19. Carayannis E.G., Campbell D.F.J. (2009). 'Mode 3' and 'Quadruple Helix': Toward a 21<sup>st</sup> century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*, 46 (3/4), 201–234. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTM.2009.023374>

20. Lindeman R.L. (1942). The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology. *Ecology*, 23 (4), 399–418. DOI: <https://doi.org/10.2307/1930126>

21. Odum E.P. (1971). *Fundamentals of Ecology*, Philadelphia: Saunders.

22. Jacobides M.G., Cennamo C., Gawer A. (2018). Towards a theory of ecosystems. *Strategic Management Journal*, 39 (8), 2255–2276. DOI: <https://doi.org/10.1002/smj.2904>

23. Glukhov V.V., Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Plotnikov V.A. (2021) Strategic Management of Industrial Ecosystems Based on the Platform Concept. *Economics and Management*, 27 (10), 752–766. DOI: <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2021-10-752-766>

24. Kvint V.L., Babkin A.V., Shkarupeta E.V. (2022) Strategizing of forming a platform operating model to increase the level of digital maturity of industrial systems. *Russian Journal of Industrial Economic*, 15 (3), 249–261. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-249-261>

25. Kleiner G.B. (2018) Industrial ecosystems: foresight. *Economic Revival of Russia*, 2 (56), 53–62.

26. Gileva T.A., Galimova M.P., Babkin A.V., Gorshenina M.E. (2021) Strategic management of industrial enterprise digital maturity in a global economic space of the ecosystem economy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 816 (1), art. no. 012022. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/816/1/012022>

27. Popov E.V., Simonova V.L., Tikhonova A.D. (2019) Struktura promyshlennykh «ekosistem» v tsi-frovoi ekonomike [The structure of industrial "ecosystems" in the digital economy]. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom [Management in Russia and abroad]*, 4, 3–11.

28. Babkin A., Shkarupeta E., Kabasheva I., Rudaleva I., Vicentiy A. (2022) Framework for Digital Development of Industrial Systems in the Strategic Drift to Industry 5.0. *International Journal of Technology*, 13 (7), 1373–1382. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i7.6193>

29. Davidenko L.M., Bepalyi S.V., Bekniyazova D. S. (2019) Resource paradigm of industrial ecosystem digital format construction. *Herald of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law*, 1 (80), 58–68. DOI: <https://doi.org/10.21295/2223-5639-2020-1-58-68>

30. Gamidullaeva L.A., Tolstykh T.O., Shmeleva N.V. (2020) Method of integrated assessment of the potential of the industrial ecosystem in the context of sustainable development of the region. *Models, sys-*



tems, networks in economics, technology, nature and society, 2, 29–48. DOI: <https://doi.org/10.21685/2227-8486-2020-2-3>

31. Frosch R.A., Gallopoulos N.E. (1989) Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261 (3), 144–153. DOI: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144>

32. Korhonen J. (2001) Four ecosystem principles for an industrial ecosystem. *Journal of Cleaner production*, 9 (3), 253–259. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(00\)00058-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00058-5)

33. Karpinskaia R.S., Liseev I.K., Ogurtsov A.P. (1995) *Filosofia prirody: koevoliutsionnaia strategiia* [*Philosophy of Nature: Coevolutionary Strategy*], Moscow: Interpraks.

34. Kleiner G.B. (2019) Ecosystem economy: step into the future. *Economic Revival of Russia*, 1 (59), 40–45.

35. Karpinskaia V.A. (2018) Ekosistema kak edinita ekonomicheskogo analiza [Ecosystem as a unit of economic analysis]. *Sistemnye problemy otechestvennoi mezoekonomiki, mikroekonomiki, ekonomiki predpriiati* [*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>

36. Moiseev N.N. (1997) Koevoliutsiia prirody i obshchestva. Puti noosferogeneza [Coevolution of Nature and Society. Paths of Noospherogenesis]. *Ekologiya i zhizn'* [*Ecology and life*], 2–3, 4–7.

37. Olivares L. (2014) Hacking the Body and Posthumanist Transbecoming: 10,000 Generations Later as the mestizaje of Speculative Cyborg Feminism and Significant Otherness. *NanoEthics*, 8, 287–297. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11569-014-0203-0>

38. Koella J.C., Offenberg J. (1999) Food availability and parasite infection influence the correlated responses of life history traits to selection for age at pupation in the mosquito *Aedes aegypti*. *Journal of Evolutionary Biology*, 12 (4), 760–769. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.1999.00071.x>

39. James T.Y. et al. (2015) Disentangling host, pathogen, and environmental determinants of a recently emerged wildlife disease: lessons from the first 15 years of amphibian chytridiomycosis research. *Ecology and Evolution*, 5 (18), 4079–4097. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.1672>

40. Fitzpatrick B.M. (2014) Symbiote transmission and maintenance of extra-genomic associations. *Frontiers in Microbiology*, 5, 46. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00046>

41. Heath K. D., Stock A. J., Stinchcombe J. R. (2010) Mutualism variation in the nodulation response to nitrate. *Journal of Evolutionary Biology*, 23 (11), 2494–2500. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2010.02092.x>

42. Aguilar-Armendariz L., Martinez-Garcia A.N. (2015) Vulnerabilities and Co-evolutionary Dynamics in Morelia Michoacan, Mexico: A Case Study. *Disaster Management: Enabling Resilience*, 317–335. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-08819-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08819-8_15)

43. Boonstra B., Rommens N. (2023) Bringing resilience together: On the co-evolutionary capacities of boundary organizations during the COVID-19 pandemic in Rotterdam. *Cities*, 140, art. no. 104420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104420>

44. Brives C., Pourraz J. (2020) Phage therapy as a potential solution in the fight against AMR: obstacles and possible futures. *Palgrave Communications*, 6, art. no. 100. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-020-0478-4>

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**БАБКИН Александр Васильевич**

E-mail: [al-vas@mail.ru](mailto:al-vas@mail.ru)

**Aleksandr V. BAVKIN**

E-mail: [al-vas@mail.ru](mailto:al-vas@mail.ru)

**МИХАЙЛОВ Павел Александрович**

E-mail: [pavel-mixailov1999@yandex.ru](mailto:pavel-mixailov1999@yandex.ru)

**Pavel A. MIKHAILOV**

E-mail: [pavel-mixailov1999@yandex.ru](mailto: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>

**ГАЕВ Константин Борисович**

E-mail: konatash@mail.ru

**Konstantin B. GAEV**

E-mail: konatash@mail.ru

*Поступила: 28.06.2024; Одобрена: 07.08.2024; Принята: 07.08.2024.*

*Submitted: 28.06.2024; Approved: 07.08.2024; Accepted: 07.08.2024.*