

УДК 658.512

DOI: 10.17586/2310-1172-2025-18-4-150-164

Научная статья

Язык статьи – русский

Промышленная экосистема: понятие и концептуальная модель деятельности

Канд. экон. наук, доцент **Ивахник Д.Е.** step99@mail.ru

МИРЭА – Российский технологический университет

119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78

В статье предложена авторская трактовка понятия промышленной экосистемы (ПЭС), которая раскрывается как территориально интегрированная, автономно регулируемая и обладающая адаптивной устойчивостью сложноорганизованная совокупность промышленных хозяйствующих субъектов (с возможным участием организаций НИОКР, инфраструктуры, сервиса и других компаний), реализующих интеграционное взаимодействие и совместное использование ресурсов, порождающих эмерджентные свойства и интеграционные сетевые эффекты, направленные на достижение целей формирования и развития данной экосистемы. Предложено авторское видение возможных целей ПЭС. Разработана концептуальная модель деятельности ПЭС, которая представляет собой комплексную структуру, включающую взаимосвязанные элементы, обеспечивающие эффективное функционирование и развитие ПЭС. Основу модели составляют три ключевых компонента: входы, индустриально-поддерживающий компонент (опорный и поддерживающие узлы системы) и выходы. Расширен перечень принципов формирования и развития ПЭС за счет включения новых элементов: антропологичность, квантово-фрактальная иерархия, биоморфизм, метаκριтика, пространственное дыхание, катастрофоустойчивость (техногенная и цифровая).

Ключевые слова: промышленная экосистема, цели промышленной экосистемы, концептуальная модель деятельности промышленной экосистемы, принципы формирования и развития промышленной экосистемы.

Ссылка для цитирования:

Ивахник Д.Е. Промышленная экосистема: понятие и концептуальная модель деятельности // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2025. № 4. С. 150-164. DOI: 10.17586/2310-1172-2025-18-4-150-164.

Scientific article

Article in Russian

Industrial ecosystem: concept and conceptual model of activity

Ph.D., docent **Ivakhnik D.E.** step99@mail.ru

MIREA – Russian Technological University

78, Vernadsky Ave., Moscow, 119454, Russia

The article proposes the author's interpretation of the concept of an industrial ecosystem (IE), which is defined as a territorially integrated, autonomously regulated, and adaptively sustainable complex set of industrial economic entities (with possible participation of R&D organizations, infrastructure, service, and other companies) that implement integration and resource sharing, generating emergent properties and integration network effects aimed at achieving the goals of forming and developing this ecosystem. The author's vision of the possible goals of an IE is proposed. A conceptual model of the PES activity has been developed, which is a complex structure that includes interconnected elements that ensure the effective functioning and development of the PES. The model is based on three key components: inputs, the industrial support component (supporting nodes of the system), and outputs. The list of principles for the formation and development of the PES has been expanded to include new elements: anthropology, quantum-fractal hierarchy, biomorphism, metacritique, spatial breathing, and catastrophe resistance (technogenic and digital).

Keywords: industrial ecosystem, goals of the industrial ecosystem, conceptual model of the industrial ecosystem, principles of the industrial ecosystem formation and development.

For citation:

Ivakhnik D.E. Industrial ecosystem: concept and conceptual model of activity. *Scientific journal NRU ITMO. Series «Economics and Environmental Management»*. 2025. № 4. P. 150-164. DOI: 10.17586/2310-1172-2025-18-4-150-164.

Введение

Современные условия социально-экономического развития диктуют необходимость внедрения прогрессивных форм организации производственной деятельности, способствующих эффективному функционированию промышленных хозяйствующих субъектов. Важнейшей тенденцией современного этапа становится формирование ПЭС. Экосистемный подход в экономике получил свое начало благодаря работам Moore J.F., который предложил рассматривать экономическую экосистему как объединение сообществ организаций и частных лиц, взаимодействующих друг с другом и создающих общий экономический фундамент [1]. Формирование концепции ПЭС берет своё начало в области промышленной экологии, основы которой были заложены работой Frosch R.A., Gallopoulos N.E., представленной в 1989 году [2]. Именно этими авторами было введено ключевое понятие «промышленные экосистемы», которое подчёркивало принципиальное отличие от традиционных промышленных структур путём выявления характерных черт интегративности и комплексного учёта взаимосвязей между природной средой и индустриальным производством.

Концепция ПЭС возникла в XX в. как реакция на растущие эколого-экономические проблемы и необходимость повышения эффективности производства. За прошедшее время накоплен значительный объем теоретического материала и практических исследований, однако многие аспекты функционирования ПЭС остаются недостаточно изученными. Цель исследования заключается в обосновании авторского определения ПЭС, разработке оригинальной концептуальной модели её деятельности, а также формулировании новых принципов формирования и развития ПЭС на основании проведённого анализа научной литературы и применения соответствующих методологических подходов. В процессе исследования применялись методологические инструменты, включающие сравнительный, системный и библиографический анализ, сопоставление результатов научных исследований, проведенных отечественными и международными специалистами, а также сравнение теоретических моделей и имеющихся аналитических материалов.

Литературный обзор и авторская трактовка понятия промышленной экосистемы

Различные аспекты теории ПЭС рассматривались в работах Moore J.F. [1], Frosch R.A. и Gallopoulos N.E. [2], Korhonen J. [3], Wareham J. совместно с Fox P.B. и Cano Giner J.L. [4], Клейнера Г.Б. [5], Попова Е.В. [6], Солдак М.О. [7], Титовой Н.Ю. [8], Глухова В.В. [9], Шкарупета Е.В. [10], Дударевой О.В. [11], Шмелевой Н.В. [12], Сафоновой С.О. [13] и др. Несмотря на высокую степень развития теории ПЭС, многие теоретические и практические положения остаются открытыми для изучения, например, вопрос раскрытия объема понятия ПЭС, а также уточнения принципов формирования и развития ПЭС. Дальнейшее развитие теории ПЭС может включать также разработку моделей деятельности ПЭС.

В табл. 1 представлен детализированный хронологический обзор интерпретаций понятия «промышленные экосистемы», сформулированных различными авторами. Каждое приведенное определение сопровождается критическим анализом, выявляющим характерные ограничения и упущения, обуславливающие необходимость дальнейшей разработки и уточнения данного научного термина. Такой подход позволяет комплексно оценить историческое развитие идей относительно ПЭС, зафиксировать существующие разногласия относительно толкования данного термина и обозначить направления дальнейших исследований.

Таблица 1

Обзор определений понятия «промышленная экосистема» (хронологическое изложение)

№	Определение	Авторы, источник	Недостатки определения
1	Промышленная экосистема – это модель промышленной деятельности, в которой отдельные производственные процессы потребляют сырье и генерируют продукцию, подлежащую продаже, и отходы, подлежащие переработке	Frosch R.A., Gallopoulos N.E. [2]	Определение предполагает участие в ПЭС только промышленных предприятий, игнорируется возможное участие в ПЭС организаций НИОКР, инфраструктуры, сервиса и других компаний. Не учитываются существенные признаки ПЭС: автономная регуляция и адаптивная устойчивость, территориальная интеграция, интеграция использования ресурсов, интеграционные сетевые эффекты, эмерджентность. Отсутствует учет целеполагания ПЭС, что ограничивает понимание механизмов формирования и развития ПЭС

2	Промышленная экосистема – это модель промышленной деятельности, представляющей собой локализованные социально-экономические формации, обеспечивающие устойчивое развитие посредством рециркуляции входных и выходных ресурсов	Korhonen J. [3]	Определение предполагает участие в ПЭС только промышленных предприятий, игнорируется возможное участие в ПЭС организаций НИОКР, инфраструктуры, сервиса и других компаний. Не учитываются существенные признаки ПЭС: автономная регуляция и адаптивная устойчивость, интеграционные сетевые эффекты, эмерджентность. Определение страдает односторонним подходом, при котором устойчивое развитие становится единственно возможной целью ПЭС, полностью игнорируются другие возможные цели ПЭС (обеспечение конкурентоспособности ПЭС, рыночная стоимость ПЭС, обеспечение экономической безопасности в регионе присутствия ПЭС, обеспечение обороноспособности государства, синкретическая цель ПЭС)
3	Промышленная экосистема – это сложная система экономических акторов, действующих на основе единой платформы, отличающихся своими видами деятельности и особенностями функционирования, целью которых является создание на базе принципа эмерджентности промышленной продукции и/или услуг	Wareham J., Fox P.B., Cano Giner J.L. [4]	Утверждение о наличии обязательной единой ИТ-платформы недостаточно обосновано теоретически и эмпирически. Многие успешно действующие ПЭС развиваются без строгих требований к централизованной платформе, полагаясь на гибкость и автономность каждого участника. Это означает, что использование единого цифрового пространства не обязательно является ключевым условием функционирования ПЭС. Требование обязательного наличия единой ИТ-платформы существенно повышает уязвимость ПЭС перед цифровыми угрозами и потенциально ведет к снижению уровня её устойчивости к возможным кибер-катастрофическим сценариям. Единая ИТ-платформа и цифровая инфраструктура создает условия для масштабирования негативных последствий единичных сбоев или атак, способствуя каскадному распространению рисков среди всех субъектов экосистемы. Не учитываются существенные признаки ПЭС: автономная регуляция и адаптивная устойчивость, территориальная интеграция, интеграция использования ресурсов, интеграционные сетевые эффекты. Заявленная цель ПЭС («создание промышленной продукции и/или услуг») характеризуется излишней обобщенностью и недостаточностью детализации, что препятствует выявлению уникальных характеристик и стратегических ориентиров отдельных экосистем. Данная цель выступает скорее промежуточным этапом достижения более сложных результатов, нежели самостоятельным финальным результатом функционирования, поскольку подразумевает дополнительные этапы трансформации и интеграции полученных продуктов и услуг в экономику и общество

4	Промышленная экосистема – это устойчивое социально-экономическое образование, органически сочетающее черты кластеров, холдингов, финансово-промышленных групп, технопарков и бизнес-инкубаторов	Клейнер Г.Б. [5]	Определение не раскрывает детально процессы интеграции ресурсов и механизмов автономного регулирования ПЭС. Отсутствует учет целеполагания ПЭС, что ограничивает понимание механизмов формирования и развития ПЭС. Не учитываются другие существенные признаки ПЭС: территориальная интеграция, интеграция использования ресурсов, интеграционные сетевые эффекты, эмерджентность.
5	Промышленная экосистема – это совокупность взаимодействующих экономических субъектов, не управляющихся иерархически и адаптирующихся друг к другу на основе профессиональных коммуникационных площадок, созданных промышленным архитектором	Попов Е.В., Симонова В. Л., Тихонова А.Д. [6]	Не учитываются существенные признаки ПЭС: территориальная интеграция, интеграция использования ресурсов, интеграционные сетевые эффекты, эмерджентность. Отсутствует учет целеполагания ПЭС, что ограничивает понимание механизмов формирования и развития ПЭС.
6	Промышленные экосистемы представляют собой географически ограниченные объединения организаций, бизнес-процессов, инновационных проектов и инфраструктурных объектов, способные к длительному автономному функционированию благодаря замкнутому циклу использования ресурсов, продукции и производственно-технологических систем	Солдак М.О. [7]	«Автономное функционирование» указывает на независимость экосистемы от внешнего мира, что ошибочно. Практически каждая ПЭС зависит от рынков сбыта, поставщиков сырья, регулирующих органов и прочих внешних агентов. Обозначить четкую границу автономного функционирования невозможно, так как внешние воздействия постоянно влияют на систему. ПЭС динамично эволюционируют, адаптируясь к внешним условиям и внутренним изменениям, представление их как статичных объединений, замкнутых на себя, противоречит реальности. Не учитываются существенные признаки ПЭС: автономная регуляция и адаптивная устойчивость, интеграционные сетевые эффекты, эмерджентность. Отсутствует учет целеполагания ПЭС, что ограничивает понимание механизмов формирования и развития ПЭС.
7	Промышленная экосистема – динамичная трансграничная группа промышленных производителей, состоящая в собственной системе коммуникаций компании со своими клиентами, пользователями и прочими участниками цепочки создания	Титова Н.Ю. [8]	Определение предполагает участие в ПЭС только промышленных предприятий, игнорируется возможное участие в ПЭС организаций НИОКР, инфраструктуры, сервиса и других компаний. Не учитываются существенные признаки ПЭС: автономная регуляция и адаптивная устойчивость, интеграция использования ресурсов, интеграционные сетевые эффекты, эмерджентность. Определение страдает односторонним подходом, при котором устойчивое развитие становится единственно

	добавленной стоимости, ориентированная на достижение единой миссии и адаптированная для устойчивого развития в условиях окружающей среды		возможной целью ПЭС, полностью игнорируются другие возможные цели ПЭС (обеспечение конкурентоспособности ПЭС, рыночная стоимость ПЭС, обеспечение экономической безопасности в регионе присутствия ПЭС, обеспечение обороноспособности государства, синкретическая цель ПЭС).
8	Сущность промышленной экосистемы авторы рассматривают как сложную систему экономических акторов, действующих на основе единой платформы, отличающихся своими видами деятельности и особенностями функционирования, целью которых является создание на базе принципа эмерджентности промышленной продукции и/или услуг.	Глухов В.В., Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. [9]	Повторяются недостатки определения (3), связанные с требованием обязательного наличия единой платформы и наличием только промежуточной цели ПЭС в виде создания промышленной продукции и/или услуг. Не учитываются существенные признаки ПЭС: автономная регуляция и адаптивная устойчивость, территориальная интеграция, интеграция использования ресурсов, интеграционные сетевые эффекты.
9	Под промышленной циркулярной экосистемой понимается географически локализованное сообщество иерархически независимых, но взаимозависимых разнородных факторов, которые устойчиво производят промышленные товары и услуги в условиях симбиотического сотрудничества и использования ресурсов	Шкарупета Е.В. [10]	Не учитываются существенные признаки ПЭС: адаптивная устойчивость, интеграционные сетевые эффекты, эмерджентность. Цель, заявляемая в определении ПЭС («производство товаров и услуг»), выглядит поверхностной и недостаточно содержательной, поскольку не позволяет выявить уникальные свойства и долгосрочные стратегии каждой отдельной экосистемы. Подобная цель служит лишь промежуточным звеном на пути к достижению более глубоких итоговых результатов, поскольку сами продукты и услуги требуют последующей переработки, интеграции и адаптации в экономике и социальной среде, выступая исходными ресурсами для дальнейших преобразований. Определение предполагает участие в ПЭС только промышленных предприятий, игнорируется возможное участие в ПЭС организаций НИОКР, инфраструктуры, сервиса и других компаний.
10	Сущность промышленной экосистемы следует рассматривать в виде эмерджентной модели промышленной деятельности, на основе которой функционирует локализованная сложная эволюционирующая	Дударева О.В. [11]	В определении отсутствует должное внимание к ключевому качеству ПЭС — адаптивной устойчивости. Хотя понятие гомеостаза упомянуто, оно представлено изолированно, без учета важности второго компонента адаптивности — резилентности. Без сочетания обоих понятий нельзя полноценно описать динамику функционирования и выживания ПЭС в меняющемся мире. Одним из ограничений приведённого определения

	когерентная сеть множественных акторов, не управляемых иерархически, действующих одновременно в логике автономности и взаимосвязанности, самоорганизации и гомеостаза, отличающихся своими убеждениями и принципами принятия решений, целью которых является достижение устойчивого развития и создание дополнительных ценностей для каждого актора текущего и будущего поколений на основе принципов промышленного симбиоза (мутуализации) и рециркуляции.		является преувеличение значимости нравственных установок и мировоззрения участников экосистемы («убеждения и принципы принятия решений»). Несмотря на безусловную важность морального фактора, прямое включение его в качестве основополагающего элемента системы создаёт проблему методологического характера. Во-первых, оценка степени влияния подобных факторов крайне затруднительна ввиду отсутствия объективных метрик измерения. Во-вторых, подобное подчёркивание моральной составляющей способно привести к формированию когнитивного смещения, позволяя интерпретировать любые действия участников экосистемы как оправданные в интересах общего блага, минуя строгий научный анализ реальной ситуации. В определении акцент сделан на достижении устойчивого развития и создании дополнительной ценности для каждого актора, текущего и будущего поколений, что значительно ограничивает круг потенциальных целей, стоящих перед ПЭС. Кроме того, существует фундаментальная неопределённость термина «ценности». Этот термин достаточно абстрактен и допускает разные толкования: прибыль, социальное признание, удовлетворение потребностей работников, улучшение экологии и многое другое. Отсутствие конкретного определения ценности создает трудности в понимании сути поставленной цели.
11	Промышленная экосистема – это подход, объединяющий как промышленные системы различных типов, так и отдельных участников (финансовые, научные, образовательные и государственные институты) на основе обмена материалами, энергией, ресурсами, знаниями и технологиями, создающей экономические, технологические и экологические преимущества для всех участников экосистемы и общества в целом	Шмелева Н.В. [12]	Не учитываются существенные признаки ПЭС: автономная регуляция и адаптивная устойчивость, территориальная интеграция, эмерджентность. Отсутствует учет целеполагания ПЭС, что ограничивает понимание механизмов формирования и развития ПЭС.
12	Промышленная экосистема – это модель организационно-экономического	Сафонова С.О., Пелымская И.С. [13]	Не учитываются существенные признаки ПЭС: автономная регуляция и адаптивная устойчивость, территориальная интеграция, интеграция использования ресурсов,

взаимодействия, которая представляет собой сеть взаимосвязанных предприятий, образованных на основе и/или вокруг промышленного производства		интеграционные сетевые эффекты, эмерджентность. В определении игнорируется цель ПЭС, что затрудняет понимание процессов её возникновения и эволюции.
---	--	--

Автор выделяет ряд существенных критериев, определяющих природу ПЭС, основываясь на изучении литературных источников [1-13]:

1. **Интеграционное взаимодействие сложноорганизованной совокупности промышленных хозяйствующих субъектов, с возможным участием организаций НИОКР, инфраструктуры, сервиса и других компаний.** Данный критерий основывается на степени интеграции и зависимости хозяйствующих субъектов от других участников системы. Такой подход позволяет чётко дифференцировать субъектов, входящих в состав ПЭС, от тех, кто остаётся за её пределами вследствие слабой или отсутствующей взаимосвязи. Промышленные хозяйствующие субъекты – это организации, занимающиеся производством продукции, выполнением работ, оказанием услуг. Организации НИОКР, инфраструктуры, сервиса и прочие компании - обеспечивают обслуживание и поддерживают жизнедеятельность первой группы (например, научные и образовательные учреждения, транспортные компании, провайдеры электроэнергии, банковские учреждения и др.). Разделение этих групп принципиально важно, так как оно показывает разные уровни вовлечённости и выполняемые роли в ПЭС. Данный критерий характеризуется принципом циркулярности и непрерывным производственным кругооборотом, где результатом деятельности одних участников является ресурс для последующих стадий межпроизводственных бизнес-процессов, что обеспечивает постоянное движение продукции (работ, услуг) и ресурсов внутри ПЭС. Анализ показывает, что нет строгого научного критерия, определяющего минимально необходимую долю промышленных предприятий для признания экосистемы промышленной. По мнению автора, экосистема является промышленной, если фактическая выручка от реализации продукции (работ, услуг) промышленных хозяйствующих субъектов экосистемы составляет более 50 % в общей выручке экосистемы за анализируемый период.

2. **Автономная регуляция и адаптивная устойчивость.** Автономная регуляция означает независимость от внешних сил и отсутствие контроля со стороны какого-либо организатора либо доминирующих субъектов. Это подразумевает почти полное исключение иерархического воздействия сверху вниз. Адаптивная устойчивость представляет собой комплексное качество ПЭС, которое объединяет в себе два ключевых аспекта: гомеостаз и резилентность. Гомеостаз обеспечивает поддержание устойчивого равновесия и сохранение базовых параметров ПЭС в рамках заданных границ, позволяя ей функционировать стабильно независимо от незначительных колебаний внешней среды. Резилентность же определяет способность ПЭС выдерживать значительные внутренние и внешние возмущения, гибко реагируя на экономические шоки и кризисы, перенастраиваясь и восстанавливая утраченную работоспособность после деструктивных воздействий. Интеграция этих двух аспектов позволяет говорить об адаптивной устойчивости как о характеристике, отражающей комплексную готовность ПЭС успешно преодолевать как повседневные флуктуации, так и масштабные шоки, обеспечивая непрерывность производственного процесса и эффективность функционирования в долгосрочной перспективе. Таким образом, адаптивная устойчивость служит индикатором надежности и жизнеспособности ПЭС, способствуя достижению целей ПЭС в современных условиях неопределенности и турбулентности.

3. **Территориальная интеграция.** Данный критерий демонстрирует значимость расположения предприятий на одной территории. Прилегающее расположение уменьшает транспортные расходы, ускоряет передачу технологий и укрепляет кооперативные связи. Для регионов это условие становится основой для решения важных задач регионального развития, создавая предпосылки для совместных проектов и улучшения бизнес-среды. Данный критерий отражает не только наличие физических границ, но и степень объединения усилий разных субъектов для эффективного функционирования ПЭС и достижения поставленных целей.

4. **Интеграция использования ресурсов.** Критерий предполагает экономию ресурсов на каждом этапе производственного процесса. Энергоэффективность, оптимальное распределение воды, сырья и материалов помогают уменьшить себестоимость продукции и сократить негативное воздействие на окружающую среду. Реализация критерия направлена на сокращение количества отходов и разработку технологий для переработки и повторного использования остаточных материалов. Большое внимание в ПЭС должно уделяться разработке методик обращения с отходами, начиная от раздельного сбора мусора до очистки сточных вод и возврата ресурсов в производственный цикл. Также необходимо применение методик модернизации оборудования, внедрение альтернативных источников энергии и разработки технологий, снижающих удельное потребление энергии на единицу произведенной продукции, что повышает энергетическую эффективность. Правильная

организация доставки сырья и отгрузки готовой продукции существенно снижает затраты на топливо и вредные выбросы транспорта. Оптимизация маршрутов перевозок, внедрение технологий отслеживания груза и создание центров консолидации улучшают общее состояние экологической обстановки и снижают нагрузку на природные ресурсы. В рамках интеграции использования ресурсов большое значение приобретает сотрудничество между участниками ПЭС. Совместные проекты, кооперация и партнёрство приводят к улучшению эффективности использования ресурсов и развитию новых подходов к их сбережению. Активное внедрение технологий цифрового контроля и автоматизации позволяет вести постоянный мониторинг расхода ресурсов, своевременно выявлять нарушения и оперативно реагировать на изменения ситуации. Датчики, IoT-технологии и интеллектуальные системы помогают достигать высокого уровня контроля над использованием ресурсов. В данном контексте, с учетом наличия в ПЭС двух групп компаний (во-первых, промышленные хозяйствующие субъекты, во-вторых, организации НИОКР, инфраструктуры, сервиса и прочие компании) важно интеграционное использование всех видов ресурсов (материальные, финансовые, информационные, трудовые, энергетические, организационно-управленческие, политические, социальные, институциональные, временные, логистические и инфраструктурные ресурсы) для обеспечения деятельности ПЭС.

5. **Интеграционные сетевые эффекты.** Это явление, при котором увеличение числа участников ПЭС вызывает положительный отклик на саму систему и её участников. Другими словами, рост числа субъектов усиливает положительные тенденции и повышает выгоду для каждого участника, независимо от размера и типа его деятельности. Каждый дополнительный участник ПЭС приносит, как правило, дополнительную стоимость и запускает мультипликативные эффекты, усиливая общую эффективность ПЭС и приближая к достижению поставленных целей. Межфирменное взаимодействие стимулирует распространение передовых практик, обмен технологиями и накопленными знаниями. Это приводит к повышению общего уровня профессионализма и качества продукции (работ, услуг). Рост числа участников открывает двери новым возможностям для диверсификации производства, выхода на новые рынки, привлечения инвестиций и запуска инновационных проектов. Большее количество участников порождает потребность в развитии инфраструктуры (логистики, энергетики, ИТ-инфраструктуры и т.д.), что положительно сказывается на деятельности ПЭС.

6. **Эмерджентность** - представляет собой уникальное свойство сложной производственной среды, при котором возникновение нового уровня организации и уникальных функций обусловлено синергическим эффектом совместных усилий участников. Эта особенность проявляется в формировании целостных, саморазвивающихся структур, характеризующихся свойствами, невозможными при анализе отдельно взятых предприятий. Важно отметить, что эмерджентность не сводится лишь к интеграции и усилению существующих тенденций, как в случае интеграционных сетевых эффектов. Она характеризуется появлением принципиально новых качеств, которые делают систему гораздо более гибкой, продуктивной и устойчивой. Именно этот аспект превращает ПЭС в мощные инструменты экономического роста и технологического прогресса.

7. **Наличие цели (целей) формирования и развития.** Отсутствие сформулированных целей формирования и развития лишает ПЭС статуса экосистемы, поскольку именно целенаправленность определяет структуру взаимосвязей и механизмы координации действий её субъектов, обеспечивая интеграцию элементов и согласованность управления бизнес-процессами.

Вопрос выбора цели ПЭС является дискуссионным. Клейнер Г.Б. отмечает, что основной целью ПЭС должно быть не получение прибыли, а эффективная реализация общеэкономических функций (производство, распределение, обмен, потребление), необходимых для жизнеобеспечения определенной группы социально-экономических объектов (поселений, отраслей, комплексов) [4]. Однако критически осмысливая данное утверждение, можно выявить некоторые важные моменты, ограничивающие универсальность предложенного подхода: 1) хозяйствующие субъекты ПЭС преимущественно формируются как коммерческие структуры, чьи учредительные документы формально ориентированы на получение прибыли, в таком случае неизбежен конфликт целей субъектов ПЭС и ПЭС в целом, что может привести к деградации и ликвидации ПЭС; 2) фокус исключительно на общественных функциях производства ставит под сомнение роль рынков и конкуренции, являющихся основными механизмами распределения ресурсов и стимулирования прогресса; 3) концепция общественной полезности недостаточно принимает во внимание частные интересы собственников, инвесторов и менеджмента предприятий; каждая компания имеет свою стратегию развития, свои инвестиционные планы и финансовые обязательства, что затрудняет полный отказ от стремления к прибыли; предположение, что хозяйствующих субъектов ПЭС будут добровольно подчиняться выполнению социальных функций без адекватного вознаграждения за риск и вложения капитала, выглядит нереалистичным; 4) ориентация исключительно на общественное благо противоречит глобальным экономическим реалиям и практике успешных мировых ПЭС; современные подходы предполагают баланс общественного блага и коммерческого интереса; компании осознают свою социальную ответственность и могут активно внедрять принципы устойчивого развития, корпоративной этики и защиты окружающей среды, однако подобная деятельность остается обоснованной лишь тогда, когда приносит прибыль.

По мнению автора, цели ПЭС могут быть следующими:

1. **Обеспечение конкурентоспособности ПЭС** (финансово-экономическая, производственно-технологическая, маркетинговая, кадровая, экологическая и цифровая составляющие конкурентоспособности ПЭС). Цель не является универсальной, она может быть применима только в условиях конкуренции ПЭС и её участников с аналогичными структурами и субъектами рынка.

2. **Рыночная стоимость ПЭС.** Может выступать как цель-индикатор, поскольку отражает совокупную стоимость всех субъектов и активов, входящих в состав ПЭС. Динамика рыночной стоимости ПЭС становится важным показателем её развития, свидетельствующим о комплексной эволюции ПЭС и её вкладе в региональную и национальную экономику.

3. Обеспечение устойчивого развития ПЭС:

3.1 Экономические показатели: доля ПЭС в валовом региональном продукте (ВРП), инвестиционная привлекательность ПЭС и привлечение инвестиций, эффективность производства и производительность труда, финансовая устойчивость субъектов экосистемы, диверсификация экономики и отраслевое развитие, степень интеграции в глобальные цепочки поставок и др.

3.2 Социальные показатели: занятость и уровень безработицы, доступность социальных услуг (здравоохранение, образование, жилье), качество жизни и удовлетворенность жителей условиями проживания, безопасность и защищенность населения и др.

3.3 Экологические показатели: энергоэффективность производства и потребления ресурсов; уровень загрязнения воздуха, воды и почвы; использование возобновляемых источников энергии; уменьшение углеродного следа и выброса парниковых газов; степень утилизации и переработки отходов и вторичного использования материалов; биологическое разнообразие и сохранение природных ландшафтов и др.

3.4 Институциональные показатели: уровень механизмов координации и взаимодействия между участниками ПЭС, прозрачность и открытость процессов принятия решений. способность адаптироваться к изменениям и управлять рисками, политико-правовые условия регулирования деятельности, уровень реализации принципов корпоративного управления и этики бизнеса и др.

3.5 Научно-технические показатели: инвестиции в НИОКР, количество патентов, квалификация трудовых ресурсов, применение новых технологий и цифровизация производств, скорость внедрения инноваций и адаптация к новым технологиям и др.

4. **Обеспечение экономической безопасности в регионе присутствия ПЭС** (продовольственная, техногенная, финансовая, цифровая, энергетическая, транспортно-инфраструктурная, налогово-фискальная, трудовая, социальная, демографическая, политико-правовая, научно-техническая и экологическая составляющие экономической безопасности).

5. **Обеспечение обороноспособности государства.** Примером ПЭС, направленной на обеспечение обороноспособности государства, является ПЭС Хьюстон (США). Среди наиболее значимых компонентов данной экосистемы: Центр Джонсона NASA (главный центр космических исследований NASA, занимается научными разработками, испытаниями космической техники и обучением астронавтов), Lockheed Martin Space Systems Company (один из лидеров американской оборонной промышленности, компания разрабатывает ракеты, спутники и авиационную технику, участвуя в важнейших оборонных контрактах правительства США), Boeing Defense, Space & Security (ведущий производитель самолётов, ракет и спутников, поставляющий технику для армии США), университет Райса и университет Хьюстона (центры науки и высоких технологий, осуществляющие исследования в области физики, химии, биологии и инженерных наук, тесно сотрудничают с государственными структурами и выполняют оборонные заказы), SpaceX Starbase Facility (испытательно-производственный комплекс компании SpaceX, где тестируются и собираются многоразовые ракеты Falcon и проектируемые аппараты Starship для космических экспедиций), BWX Technologies Inc. (поставщик ядерного топлива и реакторных конструкций для американского флота, играющий важнейшую роль в ядерной программе США) [14].

6. **Синкретическая цель ПЭС** – может объединять несколько целей из вышеперечисленных одновременно.

Исходя из проанализированного материала и представленных аргументов, автором предлагается следующая научная дефиниция. Промышленная экосистема — это территориально интегрированная, автономно регулируемая и обладающая адаптивной устойчивостью сложноорганизованная совокупность промышленных хозяйствующих субъектов (с возможным участием организаций НИОКР, инфраструктуры, сервиса и других компаний), реализующих интеграционное взаимодействие и совместное использование ресурсов, порождающих эмерджентные свойства и интеграционные сетевые эффекты, направленные на достижение целей формирования и развития данной экосистемы.

На рис. 1 представлена графическая интерпретация предложенного автором определения.



Рис. 1. Объем понятия «Промышленная экосистема»

Источник: составлено автором

Концептуальная модель деятельности промышленной экосистемы

На рис. 2. представлена концептуальная модель деятельности ПЭС, которая представляет собой комплексную структуру, включающую взаимосвязанные элементы, обеспечивающие эффективное функционирование и развитие ПЭС. Основу модели составляют три ключевых компонента: входы, индустриально-поддерживающий компонент (опорный и поддерживающие узлы системы) и выходы. Вход включает разнообразные виды ресурсов, необходимые для функционирования ПЭС, среди которых выделяются материальные, финансовые, информационные, трудовые, энергетические, организационно-управленческие, политические, социальные, институциональные, временные, логистические и инфраструктурные ресурсы. Эти ресурсы обеспечивают основу для достижения стратегических целей ПЭС, указанных ранее. Опорный узел представлен промышленными хозяйствующими субъектами, непосредственно производящими продукцию (работы, услуги). Поддерживающий узел состоит из организаций научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), сервисных компаний, инфраструктурных предприятий и других вспомогательных структур, способствующих эффективному функционированию всей экосистемы. Выход модели характеризуется продукцией, услугами и работами, произведенными в рамках ПЭС, а также отходами и выбросами, образующимися в процессе производства. Важным аспектом выхода являются фактические значения целевых показателей, отражающих степень достижения поставленных перед ПЭС целей. Окружение модели

включает ряд факторов, влияющих на формирование и развитие ПЭС. Среди них автор выделяет: предпосылки формирования и развития ПЭС; принципы формирования и развития ПЭС; законодательное регулирование деятельности ПЭС; управленческие технологии, методики и практики; информационно-технологическую инфраструктуру; стейкхолдеров; циклическое движение ресурсов, ресурсообмен; цифровую трансформацию и инновационные технологии. Каждый из этих компонентов играет важную роль в обеспечении устойчивости и эффективности функционирования ПЭС. Таким образом, предложенная концепция позволяет систематизировать знания о структуре и механизмах функционирования ПЭС, обеспечивая целостное понимание процессов, происходящих внутри и вокруг них. Это способствует разработке эффективных стратегий управления и оптимизации деятельности ПЭС в условиях динамично меняющейся внешней среды.

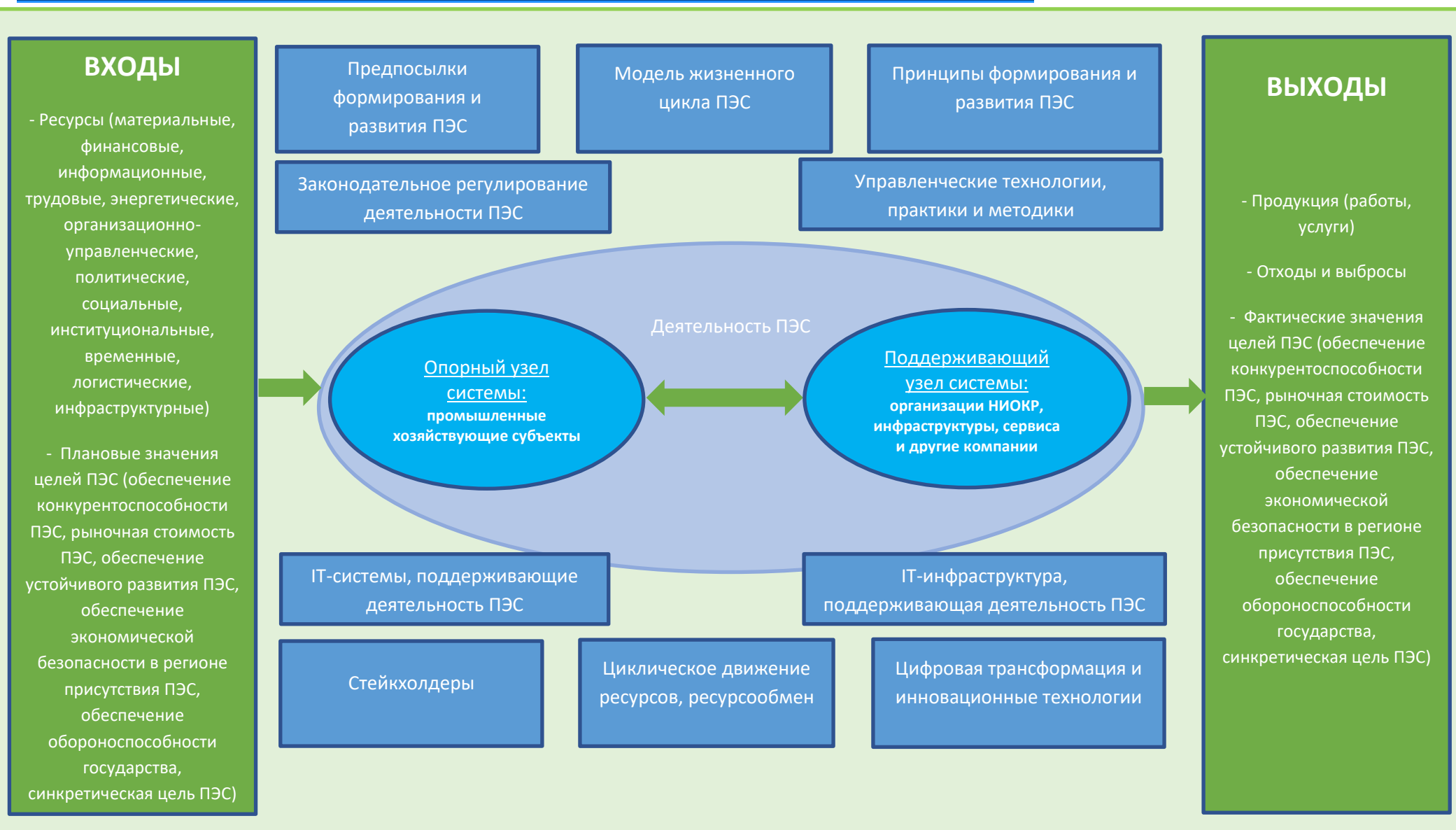
Формирование и развитие ПЭС базируется на ряде принципов, разработанных различными исследователями. Митяков Е.С. выделяет следующие принципы формирования и развития ПЭС: классические принципы управления, принципы экосистемного подхода, принципы устойчивого развития, ESG-принципы, экосистемные принципы, принципы всеобщего и устойчивого промышленного развития, принципы промышленного симбиоза, принципы циркулярности [15].

Авторская позиция расширяет этот перечень дополнительными принципами:

- Антропологичность. Формирование и развитие ПЭС должно учитывать культурные особенности и социокультурные нормы местного населения, особенно тех регионов, где расположены объекты индустрии. Учёт антропологических особенностей обеспечит принятие населением изменений и создаст условия для долгосрочного устойчивого развития.

- Квантово-фрактальная иерархия. Каждая подсистема ПЭС рассматривается как самоподобная структура, воспроизводящая общие закономерности целого на каждом масштабе своего существования. Это подразумевает существование фрактальных зависимостей и строгих иерархий, регулирующих взаимодействие крупных и мелких участников экосистемы.

- Биоморфизм. Принцип основан на аналогиях с биологическими системами, характеризующимися нелинейностью реакций на внешние возмущения. Применительно к



ПЭС это означает способность реагировать гибкими стратегиями и механизмами быстрой перестройки под воздействием внешних шоков и кризисов.

- Метакритический принцип. Метакритика основана на изучении высших степеней сложности самой критической рефлексии, применяемых к изучению механизмов эволюционных изменений ПЭС. Этот принцип предполагает рассмотрение не только конкретных событий и процессов, но и метасобытий, определяющих фундаментальные изменения траектории развития экосистемы.

- Принцип пространственного дыхания. Пространственное расположение и конфигурация элементов ПЭС рассматривается как живой организм, подверженный постоянным преобразованиям и деформациям в зависимости от внутренних и внешних воздействий. Учет динамики пространства и топологического движения объектов позволяет лучше управлять изменениями в структуре экосистемы.

- Катастрофоустойчивость (техногенная и цифровая). Принцип представляет собой многоуровневую стратегию формирования и устойчивого функционирования ПЭС, ориентированную на обеспечение надежной защиты от рисков техногенных аварий и цифровых угроз путем интеграции механизмов предотвращения, реагирования и восстановления. Предложенный принцип является инновационным подходом к формированию устойчивых ПЭС, сочетающим технологические и цифровые решения для эффективного противодействия кризисным ситуациям различного характера.

Авторские дополнения обогащают традиционный пул принципов формирования и развития ПЭС, вводя новые концептуальные рамки, направленные на повышение адаптационной способности и жизнеспособности ПЭС.

Заключение

Деятельность ПЭС представляет собой многоаспектную междисциплинарную задачу, решение которой возможно путем интеграции усилий различных отраслей науки и практики. Обеспечение эффективного функционирования ПЭС требует внедрения инновационных подходов и активного вовлечения как корпоративных структур, так и государственных регуляторов, направленных на достижение стабильности и конкурентоспособности национального промышленного комплекса в условиях современной международной конъюнктуры.

В статье предложена авторская трактовка понятия промышленной экосистемы, с выделением 7 компонентов: 1) интеграционное взаимодействие сложноорганизованной совокупности промышленных хозяйствующих субъектов, с возможным участием организаций НИОКР, инфраструктуры, сервиса и других компаний, 2) автономная регуляция и адаптивная устойчивость, 3) территориальная интеграция, 4) интеграция использования ресурсов, 5) интеграционные сетевые эффекты, 6) эмерджентность, 7) наличие цели (целей) формирования и развития ПЭС. В данном исследовании предлагается использовать следующие возможные цели ПЭС: обеспечение конкурентоспособности ПЭС, рыночная стоимость ПЭС, обеспечение устойчивого развития ПЭС, обеспечение экономической безопасности в регионе присутствия ПЭС, обеспечение обороноспособности государства, синкретическая цель ПЭС. Предложена концептуальная модель деятельности ПЭС, которая представляет собой комплексную структуру, включающую взаимосвязанные элементы, обеспечивающие эффективное функционирование и развитие ПЭС. Основу модели составляют три ключевых компонента: входы, индустриально-поддерживающий компонент (опорный и поддерживающие узлы системы) и выходы. Расширен перечень принципов формирования и развития ПЭС за счет включения новых элементов: антропологичность, квантово-фрактальная иерархия, биоморфизм, метакритика, пространственное дыхание, катастрофоустойчивость (техногенная и цифровая). Представленные положения могут быть использованы для анализа и развития ПЭС, способствуя их успешной адаптации и выживанию в сложных экономических и политических условиях современности.

Литература

1. Moore J.F. Predators and prey: A new ecology of competition // Harvard Business Review. 1993. Vol. 71, No. 3. P. 75-83.
2. Frosch R.A., Gallopoulos N.E. Strategies for manufacturing // Scientific American. 1989. T. 261. №. 3. P. 144-153.
3. Korhonen J. Four ecosystem principles for an industrial ecosystem // Journal of Cleaner Production. 2011. 9(3). P. 253-259.
4. Wareham J., Fox P.B., Cano Giner J.L. Technology ecosystem governance // Organization science. 2014. T. 25. №. 4. P. 1195-1215.
5. Клейнер Г.Б. Промышленные экосистемы: взгляд в будущее // Экономическое возрождение России. 2018. № 2(56). С. 53-62.

6. Попов Е.В., Симонова В.Л., Тихонова А.Д. Структура промышленных экосистем в цифровой экономике // Менеджмент в России и за рубежом. 2019. №. 4. С. 3–11.
7. Солдак М.О. Промышленные экосистемы и технологическое развитие // Экономика промышленности. 2019. №. 4(88). С. 75-91.
8. Титова Н.Ю. Промышленные экосистемы и кластеры как инструменты реализации целей устойчивого развития // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2021. Т. 10, № 4(37). С. 267-270.
9. Стратегическое управление промышленными экосистемами на основе платформенной концепции / В.В. Глухов, А.В. Бабкин, Е.В. Шкарупета, В.А. Плотников // Экономика и управление. 2021. Т. 27, № 10 (192). С. 751-765.
10. Шкарупета Е.В. Промышленные циркулярные экосистемы: понятие и классификация // Двенадцатые чарновские чтения: Сборник трудов XII Всероссийской научной конференции по организации производства, Москва, 02 декабря 2022 года. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана; Некоммерческое партнерство "Объединение контроллеров", 2022. – С. 131-135.
11. Дударева О.В. Управление устойчивым развитием промышленных экосистем в условиях технологических трансформаций: диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук. – Воронеж. – ВГТУ. – 2022. – 415 с.
12. Шмелева Н.В. Теория и методология стратегии развития промышленных экосистем: диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук. – М. – МИСИС. – 2023. – 271 с.
13. Сафонова С.О., Пелымская И.С. Промышленная экосистема: как уникальная модель в контексте бизнес-экосистем // Российские регионы в фокусе перемен: Сборник докладов XIX международной конференции студентов и молодых ученых, Екатеринбург, 14–16 ноября 2024 года. – Екатеринбург: Издательский Дом "Ажур", 2025. – С. 315-318.
14. Houston industries. URL: <https://www.houston.org/why-houston/industries/all-industries/>
15. Митяков Е.С., Куликова Н.Н. Принципы управления устойчивым развитием промышленных экосистем // Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы: материалы XII Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 29 мая 2024 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2024. – С. 69-74.

References

1. Moore J.F. Predators and prey: A new ecology of competition // *Harvard Business Review*. 1993. Vol. 71, No. 3. P. 75-83.
2. Frosch R.A., Gallopoulos N.E. Strategies for manufacturing // *Scientific American*. 1989. Т. 261. №. 3. P. 144-153.
3. Korhonen J. Four ecosystem principles for an industrial ecosystem // *Journal of Cleaner Production*. 2011. 9(3). P. 253–259.
4. Wareham J., Fox P.B., Cano Giner J.L. Technology ecosystem governance // *Organization science*. 2014. Т. 25. №. 4. P. 1195–1215.
5. Kleiner G.B. Promyshlennyye ekosistemy: vzglyad v budushchee // *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii*. 2018. № 2(56). S. 53-62.
6. Popov E.V., Simonova V.L., Tikhonova A.D. Struktura promyshlennykh ekosistem v tsifrovoi ekonomike // *Menedzhment v Rossii i za rubezhom*. 2019. №. 4. S. 3–11.
7. Soldak M.O. Promyshlennyye ekosistemy i tekhnologicheskoe razvitie // *Ekonomika promyshlennosti*. 2019. №. 4(88). S. 75-91.
8. Titova N.Yu. Promyshlennyye ekosistemy i klastery kak instrumenty realizatsii tselei ustoichivogo razvitiya // *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie*. 2021. Т. 10, № 4(37). S. 267-270.
9. Strategicheskoe upravlenie promyshlennymi ekosistemami na osnove platformennoi kontseptsii / V.V. Glukhov, A.V. Babkin, E.V. Shkarupeta, V.A. Plotnikov // *Ekonomika i upravlenie*. 2021. Т. 27, № 10 (192). S. 751-765.
10. Shkarupeta E.V. Promyshlennyye tsirkulyarnyye ekosistemy: ponyatie i klassifikatsiya // *Dvenadtsatye charnovskie chteniya: Sbornik trudov XII Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii po organizatsii proizvodstva*, Moskva, 02 dekabrya 2022 goda. – Moskva: MGTU im. N.E. Bauman; Nekommercheskoe partnerstvo "Ob"edinenie kontrollerov", 2022. – S. 131-135.
11. Dudareva O.V. Upravlenie ustoichivym razvitiem promyshlennykh ekosistem v usloviyakh tekhnologicheskikh transformatsii: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora ekonomicheskikh nauk. – Voronezh. – VGTU. – 2022. – 415 s.
12. Shmeleva N.V. Teoriya i metodologiya strategii razvitiya promyshlennykh ekosistem: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora ekonomicheskikh nauk. – М. – МИСИС. – 2023. – 271 s.

13. Safonova S.O., Pelymskaya I.S. Promyshlennaya ekosistema: kak unikal'naya model' v kontekste biznes-ekosistem // Rossiiskie regiony v fokuse peremen: Sbornik докладov XIX mezhdunarodnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh, Ekaterinburg, 14–16 noyabrya 2024 goda. – Ekaterinburg: Izdatel'skii Dom "Azhur", 2025. – S. 315-318.
14. Houston industries. URL: <https://www.houston.org/why-houston/industries/all-industries/>
15. Mityakov E.S., Kulikova N.N. Printsipy upravleniya ustoichivym razvitiem promyshlennykh ekosistem // Ekonomicheskaya bezopasnost' Rossii: problemy i perspektivy: materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Nizhnii Novgorod, 29 maya 2024 goda. – Nizhnii Novgorod: Nizhegorodskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. R.E. Alekseeva, 2024. – S. 69-74.

Статья поступила в редакцию 09.09.2025
Принята к публикации 08.12.2025

Received 09.09.2025
Accepted for publication 08.12.2025