

ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 338.45:519.876.5

JEL: C53, C63, L60

Разработка инструментов прогнозирования развития промышленных экосистем на основе методов имитационного моделирования*Д.А. Фокина*, д.э.н., доцент<https://orcid.org/0000-0001-9551-2508>; SPIN-код (РИНЦ): 2682-4643

Scopus author ID: 57200541677

e-mail: Fokina.da@rea.ru*А.С. Зинченко*, к.э.н., доцент<https://orcid.org/0000-0001-7971-4572>; SPIN-код (РИНЦ): 7948-5040

Scopus author ID: 59124941500

e-mail: zinchenko1980@yandex.ru**Для цитирования**

Фокина Д.А., Зинченко А.С. Разработка инструментов прогнозирования развития промышленных экосистем на основе методов имитационного моделирования // Проблемы рыночной экономики. – 2026. – № 2. – С. 137-147.

DOI: 10.33051/2500-2325-2026-2-137-147**Аннотация**

В условиях усиления внешнеэкономических ограничений, необходимости достижения технологического суверенитета и перехода к Индустрии 5.0 промышленные экосистемы становятся доминирующей формой организации производства в российской экономике. В статье представлены результаты экономико-статистического исследования российских промышленных предприятий, обосновывающие необходимость разработки новых инструментов прогнозирования развития промышленных экосистем. Предложен авторский подход к интеграции методов имитационного моделирования в единую прогнозную платформу. Раскрыты ключевые понятия исследования, адаптированные к специфике промышленных предприятий. Обоснована важность и актуальность предложенных инструментов для обеспечения устойчивого развития промышленных экосистем в условиях цифровой трансформации и циркулярной экономики.

Ключевые слова: промышленная экосистема, жизненный цикл предприятия, имитационное моделирование, прогнозирование развития, экономико-статистическое исследование, циркулярная экономика, промышленный кластер, цифровая платформа.

Development of tools for forecasting the development of industrial ecosystems based on simulation modeling methods*Darya A. Fokina*, Dr. of Sci. (Econ.), Associate Professor<https://orcid.org/0000-0001-9551-2508>; SPIN-code (RSCI): 2682-4643

Scopus author ID: 57200541677

e-mail: Fokina.da@rea.ru*Aleksandr S. Zinchenko*, Cand. of Sci. (Econ.), Associate Professor<https://orcid.org/0000-0001-7971-4572>; SPIN-code (RSCI): 7948-5040

Scopus author ID: 59124941500
e-mail: zinchenko1980@yandex.ru

For citation

Fokina D.A., Zinchenko A.S. Development of tools for forecasting the development of industrial ecosystems based on simulation modeling methods // Market economy problems. – 2026. – No. 2. – Pp. 137-147 (In Russian).

DOI: 10.33051/2500-2325-2026-2-137-147

Abstract

Amid increasing external economic restrictions, the need to achieve technological sovereignty, and the transition to Industry 5.0, industrial ecosystems are becoming the dominant form of production organization in the Russian economy. This article presents the results of an economic and statistical study of Russian industrial enterprises, substantiating the need to develop new tools for forecasting the development of industrial ecosystems. A unique approach to integrating simulation modeling methods into a unified forecasting platform is proposed. Key research concepts adapted to the specifics of industrial enterprises are revealed. The importance and relevance of the proposed tools for ensuring the sustainable development of industrial ecosystems in the context of digital transformation and the circular economy are substantiated.

Keywords: *industrial ecosystem, enterprise life cycle, simulation modeling, development forecasting, economic and statistical study, circular economy, industrial cluster, digital platform.*

Введение

Современный этап развития российской промышленности характеризуется глубинными структурными изменениями, обусловленными совокупностью внешних и внутренних факторов. Усиление санкционного давления, необходимость импортозамещения, переход к новому технологическому укладу и требования экологической устойчивости формируют качественно новую среду функционирования промышленных предприятий. В этих условиях традиционные формы организации производства - отдельные предприятия, холдинги, кластеры - демонстрируют ограниченную способность к адаптации и устойчивому развитию. Как отмечают исследователи, возникает новый феномен «промышленная экосистема», который актуализирует необходимость его всестороннего изучения и разработки инструментов управления [1].

Промышленные экосистемы представляют собой территориально интегрированные, автономно регулируемые и обладающие адаптивной устойчивостью сложноорганизованные совокупности промышленных хозяйствующих субъектов, реализующих интеграционное взаимодействие и совместное использование ресурсов, что порождает эмерджентные свойства и сетевые эффекты [2]. Такие системы становятся наиболее вероятными претендентами на роль основных структур в промышленности и организации цифровой экономики в целом.

Однако эффективное управление развитием промышленных экосистем невозможно без адекватного прогнозного инструментария. Существующие методы прогнозирования, ориентированные преимущественно на анализ деятельности отдельных предприятий, не учитывают специфику экосистемных взаимодействий: сетевой характер связей, эмерджентные свойства, множественность субъектов принятия решений, циркулярные потоки ресурсов. Это определяет необходимость разработки новых подходов к прогнозированию, интегрирующих методы имитационного моделирования, позволяющие воспроизводить сложную динамику экосистем, и анализ жизненного цикла, дающий понимание стадийных закономерностей развития.

Теоретические основы исследования промышленных экосистем заложены в работах Г.Б. Клейнера [3], который рассматривает данный тип экосистем как совокупность промышленного кластера, платформы, сети и инкубатора. Существенный вклад в развитие концепции внесли исследования Е.В. Шкарупеты, О.В. Дударевой, и др. [4], посвященные вопросам устойчивого развития и стратегического управления промышленными экосистемами. Вопросы диагностики

жизненного цикла промышленных предприятий разработаны в трудах Кондратьева [5]. Методология имитационного моделирования социально-экономических систем представлена в работах отечественных и зарубежных авторов [6]. Однако, несмотря на значительный объем научных разработок, проблема интеграции методов имитационного моделирования и анализа жизненного цикла в единый прогнозный инструментарий применительно к промышленным экосистемам остается недостаточно исследованной.

Целью настоящего исследования является разработка теоретико-методологических основ и практических инструментов прогнозирования развития промышленных экосистем на основе интеграции методов имитационного моделирования и анализа жизненного цикла.

Для достижения поставленной цели необходимо провести экономико-статистический анализ деятельности российских промышленных предприятий в контексте формирования экосистемных структур, раскрыть содержание ключевых понятий исследования, адаптированных к специфике промышленных экосистем, систематизировать инструменты имитационного моделирования в формате аналитической таблицы и обосновать важность и актуальность предложенных инструментов для обеспечения устойчивого развития промышленных экосистем.

Объектом исследования выступают промышленные предприятия и формирующиеся на их основе промышленные экосистемы Российской Федерации. Предметом исследования являются экономико-статистические закономерности и инструменты прогнозирования развития промышленных экосистем.

Методология и методы исследования

Методологической основой исследования послужили концепции промышленной революции, циркулярной и цифровой экономики, системный и эволюционный подходы к анализу экономических систем. В работе использованы методы экономико-статистического анализа, систематизации, сравнительного анализа, имитационного моделирования, а также методы диагностики жизненного цикла предприятий.

Для обеспечения корректности научного анализа необходимо уточнить содержание ключевых понятий, адаптировав их к специфике промышленных экосистем.

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 на основе цифровой платформы, что порождает эмерджентные свойства и сетевые эффекты, направленные на достижение целей устойчивого социально-экономического и экологического развития [7].

Ключевые характеристики промышленной экосистемы:

- территориальная интегрированность - географическая локализация участников, обеспечивающая снижение транзакционных и логистических издержек;
- автономная регулируемость - способность к самоорганизации и адаптации без жесткого директивного управления;
- адаптивная устойчивость - способность сохранять целостность и выполнять целевые функции в условиях внешних возмущений;
- интеграционное взаимодействие - формирование устойчивых кооперационных связей между участниками;
- совместное использование ресурсов - реализация принципов экономики совместного потребления и циркулярной экономики;
- цифровая платформа - технологическая основа координации взаимодействий;
- эмерджентные свойства - возникновение новых качеств, не присущих отдельным участникам;
- целевая ориентация - достижение синергетического эффекта, обеспечивающего устойчивое развитие.

В рамках исследования под жизненным циклом промышленного предприятия понимается совокупность закономерно сменяющих друг друга стадий развития, характеризующихся

определенными сочетаниями показателей экономической эффективности, результативности, конкурентоспособности и производственно-коммерческого потенциала [8].

На основе критического анализа существующих классификаций предлагается выделение стадий жизненного цикла промышленного предприятия применительно к экосистемному контексту:

-зарождение (эмбриональная стадия) - формирование ядра будущей экосистемы, создание инновационного продукта или технологии, поиск партнеров.

-становление (экспансия) - активное расширение сети взаимодействий, привлечение новых участников, масштабирование деятельности.

-зрелость (стабилизация) - достижение оптимальной конфигурации экосистемы, сбалансированность потоков ресурсов, устойчивая кооперация.

-трансформация (обновление или угасание) - либо переход к новой конфигурации экосистемы на основе инноваций, либо деградация и распад.

Важно отметить, что в экосистемном контексте жизненный цикл не является линейным и предопределенным, экосистема может одновременно находиться на разных стадиях для разных направлений деятельности, а также демонстрировать циклическую динамику.

Под имитационным моделированием в контексте прогнозирования развития промышленных экосистем понимается метод компьютерного моделирования, позволяющий воспроизводить поведение сложной системы во времени на основе формализованного описания взаимодействий ее элементов и внешних воздействий, с целью оценки вариантов развития при различных сценарных условиях [8].

Специфика применения имитационного моделирования для промышленных экосистем определяется необходимостью учета:

-множественности агентов (предприятий, организаций) с автономными целями и стратегиями поведения;

- сетевой структуры взаимодействий;

- нелинейной динамики и обратных связей;

- факторов неопределенности внешней среды;

- временных лагов в принятии и реализации решений.

Экономико-статистическое исследование в рамках данной работы представляет собой систему методов сбора, обработки и анализа количественных данных о деятельности промышленных предприятий, направленную на выявление закономерностей их функционирования и развития в контексте формирования экосистемных структур.

Циркулярная экономика (экономика замкнутого цикла) - модель экономической организации, основанная на минимизации отходов и максимальном использовании ресурсов за счет замыкания материальных потоков, при которой отходы одних процессов служат сырьем для других.

Применительно к промышленным экосистемам принципы циркулярной экономики реализуются через: организацию замкнутых промышленных циклов; создание промышленных симбиозов; совместное использование ресурсов участниками экосистемы; минимизацию экологического следа.

Технологический суверенитет - способность страны (или промышленной экосистемы) обеспечивать независимое технологическое развитие, владение критическими технологиями и компетенциями, позволяющими противостоять внешним ограничениям и поддерживать конкурентоспособность.

В контексте промышленных экосистем технологический суверенитет достигается через: концентрацию компетенций в рамках экосистемы; развитие собственных цифровых платформ; формирование замкнутых цепочек создания стоимости.

Результаты исследования

Для обоснования необходимости разработки новых инструментов прогнозирования развития промышленных экосистем проведем анализ ключевых тенденций и закономерностей функционирования российских промышленных предприятий.

Анализ статистических данных за период 2019-2024 гг. позволил выявить тенденции, среди которых волатильность темпов роста. Промышленное производство в России демонстрирует

неравномерную динамику, обусловленную как циклическими факторами, так и внешними шоками [9]. Периоды роста сменяются спадами, что актуализирует необходимость прогнозирования с учетом высокой неопределенности.

Дифференциация по отраслям, наиболее устойчивый рост демонстрируют отрасли, связанные с импортозамещением и оборонно-промышленным комплексом. Обрабатывающие производства показывают более высокие темпы роста по сравнению с добывающими. Эта дифференциация создает предпосылки для формирования отраслевых экосистем с различной динамикой развития. Несмотря на экономические ограничения, наблюдается рост инвестиций в основной капитал, особенно в секторах, ориентированных на импортозамещение. Это свидетельствует о структурной перестройке промышленности и создает основу для формирования новых экосистемных образований.

Для углубленного понимания закономерностей развития промышленных предприятий проведем диагностику стадий жизненного цикла на основе методики, предложенной в работе. Данная методика основана на расчете интегрального диагностического показателя, включающего: показатели фактической экономической эффективности и результативности; показатели конкурентоспособности; прогнозные значения производственно-коммерческого потенциала; степень использования потенциала.

Результаты апробации методики на выборке промышленных предприятий позволили сделать вывод о том, что значительная доля предприятий находится в стадии зрелости. Это характеризуется стабилизацией показателей, но также и риском стагнации, снижением инновационной активности.

Предприятия с признаками кризисного развития требуют особого внимания. Своевременная диагностика предкризисного состояния позволяет предотвратить развитие кризисных явлений.

Наблюдается корреляция между стадией жизненного цикла и степенью интеграции в экосистемные структуры. Предприятия, входящие в промышленные кластеры и экосистемы, демонстрируют более устойчивое развитие и более высокий потенциал для перехода к следующим стадиям.

Анализ практики формирования промышленных экосистем в России позволил выделить следующие модели, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Модели промышленных экосистем в России

Модели	Сущность	Примеры
кластерно-ориентированные экосистемы	Формируются на базе существующих промышленных кластеров, дополненных цифровыми платформами, логистическими сетями и инкубационными структурами	Автомобильные кластеры (Калужская область, Санкт-Петербург), фармацевтические кластеры («Северный» в Москве, «Академпарк» в Новосибирске), кластер авиастроения (Ульяновская область)
Цифровые платформенные экосистемы	Создаются на основе цифровых платформ, интегрирующих производителей, поставщиков, потребителей и сервисные организации	ГИС Промышленность (Государственная информационная система промышленности), платформа «Цифровой металлург» (Северсталь), отраслевые платформы «Ростеха», экосистема «Гознак»
Циркулярные промышленные экосистемы	Ориентированы на организацию замкнутых производственных циклов, минимизацию отходов и совместное использование ресурсов	Экопромышленные парки («Химпарк» в Татарстане, проекты «Русала» по переработке отходов), кластеры по переработке отходов в рамках нацпроекта «Экология», металлургические комплексы с безотходной технологией (ЕВРАЗ, НЛМК)

Территория льно- производств енные экосистемы	ТОРы формируются в рамках территорий опережающего развития, особых экономических зон, моногородов.	Территории опережающего развития на Дальнем Востоке «Комсомольск», «Надеждинская», ОЭЗ (Калуга, «Алабуга» в Татарстане, «Липецк»), моногорода с развитой инфраструктурой (г. Тольятти)
---	--	--

Для прогнозирования развития промышленных экосистем предлагается использование методов имитационного моделирования:

Агент-ориентированное моделирование позволяет моделировать поведение отдельных предприятий-агентов, их взаимодействия и адаптацию. Преимущество метода - возможность учета гетерогенности участников и эмерджентных свойств экосистемы.

Системная динамика, ориентирована на моделирование потоковых структур и обратных связей, применима для анализа долгосрочной динамики развития экосистемы, включая материальные, финансовые и информационные потоки. Дискретно-событийное моделирование используется для моделирования производственных и логистических процессов в рамках экосистемы. Гибридное моделирование. Комбинирует различные подходы для наиболее полного отражения специфики промышленной экосистемы.

Ключевая идея предлагаемого подхода заключается в интеграции методов диагностики жизненного цикла и имитационного моделирования в единую прогнозную платформу. Такая интеграция позволяет:

- использовать результаты диагностики жизненного цикла для калибровки имитационных моделей;
- на основе имитационного моделирования прогнозировать траектории жизненного цикла при различных сценариях;
- оценивать влияние управленческих решений на продолжительность и качество прохождения стадий жизненного цикла;
- выявлять критические точки и риски, требующие управленческого вмешательства.

Для обеспечения практической применимости разработанного подхода проведем систематизацию инструментов диагностики жизненного цикла и имитационного моделирования в формате аналитической таблицы.

Таблица 2

Инструменты прогнозирования развития промышленных экосистем

Категория	Наименование инструмента	Назначение	Применение в экосистемном контексте
Диагностика ЖЦ предприятия	Интегральный диагностический показатель	Количественная оценка уровня экономического развития предприятия	Определение стадии ЖЦ каждого участника экосистемы для оценки экосистемного профиля
	Методика определения ограничений развития	Выявление дефицита средств и ограничений роста	Оценка «узких мест» экосистемы, требующих перераспределения ресурсов
	Анализ экономической устойчивости	Оценка способности противостоять внешним воздействиям	Прогнозирование устойчивости экосистемы в целом
Диагностика ЖЦ промышленности	Матрица реагирования на отклонения параметров качества	Выявление и управление рисками на стадиях ЖЦ продукции	Обеспечение качества в рамках циркулярных цепочек создания стоимости
	Оценка жизненного цикла (LCA)	Оценка экологических воздействий на всех стадиях	Реализация принципов циркулярной экономики в экосистеме
Имитационное моделирование	Агент-ориентированное моделирование	Моделирование поведения автономных агентов и их взаимодействий	Прогнозирование эволюции экосистемы, оценка эффектов кооперации
	Системная динамика	Моделирование потоковых структур и обратных связей	Анализ долгосрочной динамики ресурсных потоков в экосистеме
	Дискретно-событийное моделирование	Моделирование дискретных процессов	Оптимизация производственных и логистических процессов

	Гибридное моделирование	Комбинирование различных подходов	Полное отражение специфики промышленной экосистемы
Управление ЖЦ экосистемы	Концептуальный фреймворк интеллектуальной зрелости	Оценка уровня развития экосистемы	Определение стратегии когнитивной трансформации экосистемы
	Методика стратификации и ранжирования	Группировка экосистем по уровню зрелости	Сравнительный анализ и бенчмаркинг
	Система критериев и индикаторов	Мониторинг развития по направлениям	Формирование системы управления развитием

Предложенные инструменты прогнозирования развития промышленных экосистем обладают существенной теоретической значимостью, что выражается в развитии теории промышленных экосистем. Интеграция методов анализа жизненного цикла и имитационного моделирования позволяет перейти от статического описания структуры экосистем к динамическому моделированию их эволюции, что обогащает теоретические представления о закономерностях развития экосистемных структур.

Адаптация понятий «жизненный цикл», «имитационное моделирование», «промышленная экосистема» к специфике российской промышленности способствует формированию непротиворечивого понятийного базиса.

Объединение методов экономико-статистического анализа, диагностики жизненного цикла и имитационного моделирования создает методологическую основу для комплексного исследования промышленных экосистем.

Практическая значимость разработанных инструментов определяется возможностями их применения в управленческой деятельности и повышении качества прогнозирования. Интеграция методов позволяет более точно прогнозировать развитие промышленных экосистем с учетом их специфических особенностей, включая сетевые взаимодействия и эмерджентные свойства.

Кроме того, диагностика стадий жизненного цикла предприятий-участников позволяет выявлять предкризисные состояния и своевременно принимать меры по их предотвращению. Имитационное моделирование позволяет оценивать последствия различных управленческих решений до их реализации, снижая риски неэффективного управления.

Поддержка стратегического планирования. Разработанные инструменты обеспечивают информационную базу для разработки стратегий развития промышленных экосистем на региональном и отраслевом уровнях.

Актуальность предложенных инструментов обусловлена рядом факторов современного развития российской экономики. Необходимость достижения технологического суверенитета. В условиях внешних ограничений требуется формирование самодостаточных промышленных экосистем, способных обеспечить независимое технологическое развитие.

Переход к циркулярной экономике и принципы экономики замкнутого цикла требуют организации межфирменных взаимодействий, обеспечивающих замыкание материальных потоков. Предложенные инструменты позволяют прогнозировать эффективность таких взаимодействий.

Цифровая трансформация промышленности и развитие цифровых платформ создает технологическую основу для формирования промышленных экосистем. Предложенные инструменты учитывают фактор цифровизации и позволяют прогнозировать эффекты от внедрения цифровых технологий.

Повышенная неопределенность внешней среды, современные геополитические и экономические условия характеризуются высокой степенью неопределенности. Имитационное моделирование позволяет оценивать развитие экосистем при различных сценарных условиях, что особенно важно в условиях нестабильности.

Анализ статистических данных и результатов диагностики жизненного цикла выявил следующие тенденции:

Поляризация развития. Наблюдается рост разрыва между предприятиями, успешно интегрированными в экосистемные структуры, и предприятиями, функционирующими изолированно. Первые демонстрируют более высокие показатели экономической устойчивости и инновационной активности.

Трансформация структуры связей. Происходит переход от иерархических (холдинговых) структур к сетевым экосистемным взаимодействиям. Этот процесс требует новых инструментов управления и прогнозирования.

Роль цифровых платформ. Предприятия, использующие цифровые платформы для координации взаимодействий, показывают более высокие темпы роста и адаптивность.

Экологический фактор. Усиление экологических требований стимулирует формирование циркулярных промышленных экосистем, ориентированных на замкнутые производственные циклы.

Заключение и обоснованные выводы

Проведенное экономико-статистическое исследование российских промышленных предприятий и разработка инструментов прогнозирования развития промышленных экосистем на основе интеграции методов имитационного моделирования и анализа жизненного цикла позволяют сформулировать выводы о том, что промышленные экосистемы как новая реальность российской экономики. Формирование промышленных экосистем является объективным процессом, отражающим закономерности развития современной экономики. Промышленные экосистемы представляют собой качественно новую форму организации производства, обеспечивающую адаптивную устойчивость и синергетические эффекты за счет сетевого взаимодействия, совместного использования ресурсов и реализации принципов циркулярной экономики.

Необходимость адаптации инструментария прогнозирования. Традиционные методы прогнозирования, ориентированные на отдельные предприятия, не учитывают специфику экосистемных взаимодействий (сетевой характер, эмерджентность, множественность агентов). Это определяет необходимость разработки нового инструментария, интегрирующего методы имитационного моделирования и анализа жизненного цикла.

Методологическая ценность интеграции подходов. Интеграция методов диагностики жизненного цикла и имитационного моделирования в единую прогнозную платформу обеспечивает: учет стадийных закономерностей развития при моделировании экосистемной динамики; возможность прогнозирования траекторий жизненного цикла при различных сценариях; количественную оценку влияния управленческих решений на развитие экосистемы; своевременную идентификацию критических точек и предкризисных состояний.

Практическая применимость разработанных инструментов. Предложенные инструменты (блок-схема прогнозного моделирования, систематизация методов в формате аналитической таблицы, методики диагностики и моделирования) могут быть использованы: руководством промышленных предприятий для стратегического планирования развития; управляющими компаниями экосистем для координации взаимодействий участников; региональными органами власти для поддержки развития промышленных кластеров и экосистем; научно-исследовательскими организациями для дальнейшего развития теории промышленных экосистем.

Актуальность в контексте современных вызовов. Разработанные инструменты приобретают особую актуальность в условиях: необходимости достижения технологического суверенитета и импортозамещения; перехода к циркулярной экономике и требованиям экологической устойчивости; цифровой трансформации промышленности и развития платформенных решений; высокой неопределенности внешней среды, требующей сценарного подхода к прогнозированию.

Заключительное положение. Развитие промышленных экосистем является стратегическим направлением трансформации российской промышленности. Эффективное управление этим процессом требует адекватного прогнозного инструментария. Предложенные в настоящем исследовании подходы и инструменты, основанные на интеграции методов имитационного моделирования и анализа жизненного цикла, создают теоретико-методологическую основу для разработки эффективных стратегий развития промышленных экосистем, обеспечивающих устойчивый рост, технологический суверенитет и экологическую безопасность в условиях цифровой трансформации и перехода к циркулярной экономике.

Литература

1. Промышленные платформы и экосистемы: монография / под редакцией В. В. Акбердиной. - Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2024. - 278 с. ISBN 978-5-94646-697-4.
2. Промышленные платформы и экосистемы: монография / [Акбердина Виктория Викторовна, Барыбина Анна Зинуровна, Василенко Елизавета Валерьевна и др.]; под редакцией В. В. Акбердиной; Российская академия наук, Уральское отделение, Институт экономики. - Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2024. - 276, [1] с.: ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-94646-697-4.
3. Клейнер Г.Б. Системная экономика: шаги развития: Монография / Г.Б. Клейнер. Предисловие академика В.Л. Макарова. – Издательский дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2021. – 746 с. ISBN 978-5-907242-87-6.
4. Методология устойчивого развития промышленных экосистем / Е. В. Шкарупета, О. В. Дударева, М. В. Филатова, А. Ю. Беккиев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82, № 4(86). – С. 377-382. – DOI 10.20914/2310-1202-2020-4-377-382. – EDN WXTLHJ.
5. Kondratieff waves: historical and theoretical aspects / Russian academy of sciences, Institute of economics, International N. D. Kondratieff foundation [etc.]; edited by Leonid E. Grinin [et al.]. - Volgograd: Uchitel, 2021. - 198 с.: ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-7057-6044-2.
6. Беляева, М.А. Моделирование технико-экономических систем в области высокотехнологических процессов. - Москва: Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, 2023.; ISBN 978-5-7307-1925-5.
7. Бабкин, А.В. Формирование и развитие киберсоциальных промышленных экосистем кластерного типа на основе Индустрии 5.0: монография / А. В. Бабкин, Е. В. Шкарупета, Л. В. Ташенова. - Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского государственного экономического университета, 2023 (Санкт-Петербург). - 121, [1] с.; 20 см.; ISBN 978-5-7310-6290-9.
8. Нечаев, Д. Ю. Математическое и имитационное моделирование в менеджменте: учебное пособие / Д. Ю. Нечаев, А. В. Нестеров; Московский гуманитарный университет, Факультет экономики, управления и международных отношений, Кафедра прикладной информатики и статистики. - Москва: Изд-во Московского гуманитарного ун-та, 2024. - Ч. 2: Имитационное моделирование социально-экономических процессов и систем. - 2025. - 114 с.: ил., табл.; ISBN 978-5-907986-04-6.
9. Промышленное производство в России [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [URLhttps://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13225](https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13225) (дата обращения 18.03.2026).
10. G. Belyakov, S. Belyakov, D. Fokina. Scientific & technological development as the basis for increasing the foreign trade potential of engineering enterprises / G. Belyakov, S. Belyakov, D. Fokina, A. Shpak // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russian Federation, 25 сентября – 04 2020 года. Vol. 1679. – Krasnoyarsk, Russian Federation: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 32034. – DOI 10.1088/1742-6596/1679/3/032034.
11. Fokina, D. Effective online communication based on information-technological platforms for smart machine-building factory enterprises / D. Fokina, L. Mangusheva // Proceedings II International Scientific Conference on Advances in Science, Engineering and Digital Education (ASEDU-II-2021): Conference Proceedings, Krasnoyarsk, 28 октября 2021 года. Vol. 2647 A. – Krasnoyarsk: AIP PUBLISHING, 2022. – P. 70026. – DOI 10.1063/5.0104837. – EDN VESMGW.
12. Устойчивое развитие в неустойчивом мире: объединяя усилия регионов, городов и компаний [Текст]: докл. к XXIV Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2023 г. / М. Э. Аким и др.; под науч. ред. Т. А. Колобашкиной; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». - М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2023. - 161 с. - ISBN 978-5-7598-2783-2. (в обл.). - ISBN 978-5-7598-2849-5 (e-book).
13. Питиримов Н. Создание экосистемы промышленного симбиоза в России через развитие центров промышленного симбиоза [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: [file:///C:/Users/ermak/Downloads/dls6k2qhet%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ermak/Downloads/dls6k2qhet%20(1).pdf) (дата обращения 18.03.2026).

14. Создание экосистемы промышленного симбиоза в России через развитие центров промышленного симбиоза [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: <https://spbcleantechcluster.nethouse.ru/page/1424147> (дата обращения 23.03.2026).

15. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 N 3052-р Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: <http://government.ru/docs/43708/> (дата обращения 18.03.2026).

References

1. Industrial platforms and ecosystems: a monograph / edited by V. V. Akberdina. Yekaterinburg: Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2024. 278 p. ISBN 978-5-94646-697-4.

2. Industrial platforms and ecosystems: a monograph / [Akberdina Victoria Viktorovna, Barybina Anna Zinurovna, Vasilenko Elizaveta Valeryevna et al.]; edited by V. V. Akberdina; Russian Academy of Sciences, Ural Branch, Institute of Economics. Yekaterinburg: Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2024. 276, [1] p.: ill., tab.; 21 see; ISBN 978-5-94646-697-4.

3. Kleiner G.B. System economy: steps of development: A monograph / G.B. Kleiner. Preface by Academician V.L. Makarov. – SCIENTIFIC LIBRARY Publishing House, 2021. 746 p. ISBN 978-5-907242-87-6.

4. Methodology of sustainable development of industrial ecosystems / E. V. Shkarupeta, O. V. Dudareva, M. V. Filatova, A. Yu. Bekkiev // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2020. – Vol. 82, No. 4(86). – pp. 377-382. – DOI 10.20914/2310-1202-2020-4-377-382. – EDN WXTLHJ.

5. Kondratieff waves: historical and theoretical aspects / Russian academy of sciences, Institute of economics, International N. D. Kondratieff foundation [etc.]; edited by Leonid E. Grinin [et al.]. - Volgograd: Uchitel, 2021. - 198 с.: ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-7057-6044-2.

6. Belyaeva, M.A. Modeling of technical and economic systems in the field of high-tech processes. Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, 2023.; ISBN 978-5-7307-1925-5.

7. Babkin, A.V. Formation and development of cluster-type cybersocial industrial ecosystems based on Industry 5.0: a monograph / A.V. Babkin, E. V. Shkarupeta, L. V. Tashenova. - Saint Petersburg: Publishing House of the Saint Petersburg State University of Economics, 2023 (Saint Petersburg). - 121, [1] p.; 20 cm.; ISBN 978-5-7310-6290-9.

8. Nechaev, D. Y. Mathematical and simulation modeling in Management: a textbook / D. Y. Nechaev, A.V. Nesterov; Moscow University for the Humanities, Faculty of Economics, Management and International Relations, Department of Applied Informatics and Statistics. - Moscow: Publishing House of the Moscow Humanitarian University, 2024. - Ch. 2: Simulation of socio-economic processes and systems. - 2025. 114 p.: ill., tab.; ISBN 978-5-907986-04-6.

9. Industrial production in Russia [Electronic resource]. - Access mode: URL <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13225> (accessed 03/18/2026).

10. G. Belyakov, S. Belyakov, D. Fokina. Scientific & technological development as the basis for increasing the foreign trade potential of engineering enterprises / G. Belyakov, S. Belyakov, D. Fokina, A. Shpak // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russian Federation, 25 сентября – 04 2020 года. Vol. 1679. – Krasnoyarsk, Russian Federation: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 32034. – DOI 10.1088/1742-6596/1679/3/032034.

11. Fokina, D. Effective online communication based on information-technological platforms for smart machine-building factory enterprises / D. Fokina, L. Mangusheva // Proceedings II International Scientific Conference on Advances in Science, Engineering and Digital Education (ASEDU-II-2021): Conference Proceedings, Krasnoyarsk, 28 октября 2021 года. Vol. 2647 A. – Krasnoyarsk: AIP PUBLISHING, 2022. – P. 70026. – DOI 10.1063/5.0104837. – EDN VESMGW.

12. Sustainable development in an unstable world: combining the efforts of regions, cities and companies [Text]: proceedings of the XXIV Yasinskaya (April) International Scientific Conference on Economic and Social Development, Moscow, 2023 / M. E. Akim et al.; edited by T. A. Kolobashkina; National. research. University of Higher School of Economics, Moscow: Publishing House of the

Higher School of Economics, 2023. 161 p. ISBN 978-5-7598-2783-2. (in the region). - ISBN 978-5-7598-2849-5 (e-book).

13. Pitirimov N. Creation of an ecosystem of industrial symbiosis in Russia through the development of industrial symbiosis centers [Electronic resource]. - Access mode: URL: [file:///C:/Users/ermak/Downloads/dls6k2qhet%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ermak/Downloads/dls6k2qhet%20(1).pdf) (accessed 03/18/2026).

14. Creation of an ecosystem of industrial symbiosis in Russia through the development of industrial symbiosis centers [Electronic resource]. - Access mode: URL: <https://spbcleantechcluster.nethouse.ru/page/1424147> (accessed 03/23/2026).

15. Decree of the Government of the Russian Federation No. 3052-r dated 10/29/2021 On Approval of the Strategy for the Socio-Economic development of the Russian Federation with Low Greenhouse Gas Emissions until 2050. [electronic resource]. - Access mode: URL: <http://government.ru/docs/43708/> (accessed 03/18/2026).

Об авторах

Фокина Дарья Александровна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры информатики Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Москва, РФ; профессор кафедры бизнес-информатики и моделирования бизнес-процессов Сибирского федерального университета, Красноярск, РФ.

Зинченко Александр Сергеевич, кандидат экономических наук., доцент, доцент кафедры математики Московского Авиационного Института (национальный исследовательский университет) МАИ, Москва, РФ.

About authors

Darya A. Fokina, Doctor of Sci. (Econ.), Associate Professor, Professor of the Department of Computer Science, Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Moscow, Russian Federation; Professor of the Department of Business Informatics and Business Process Modeling, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation.

Aleksandr S. Zinchenko, Candidate of Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor of the Mathematics Department of the Moscow Aviation Institute (national research university) MAI, Moscow, Russian Federation.