

МОДЕРНИЗАЦИЯ И ИННОВАЦИИ

УДК 338.45

JEL: L52, O14

**Разработка ресурсной микс-модели экосистемы
промышленного симбиоза региона***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 ресурсной микс-модели экосистемы промышленного симбиоза региона // Проблемы рыночной экономики. – 2025. – № 4. – С. 198-209.

DOI: 10.33051/2500-2325-2025-4-198-209

Аннотация

В статье на основании исследований экосистемного подхода к организации промышленной кооперации в регионе предложена ресурсная микс-модель производственной кооперации. Традиционные модели ПС часто фокусируются на линейном обмене материальными потоками (отходами, побочными продуктами, энергией), недооценивая комплексность и синергетический потенциал взаимодействий между участниками. Разработанная ресурсная микс-модель представляет собой многоуровневый каркас для анализа и проектирования симбиотических систем, интегрирующий не только материальные, но и нематериальные ресурсы: информационные, финансовые, человеческие и инфраструктурные потоки. Результаты исследования могут быть использованы органами государственного управления для формирования политики устойчивого промышленного развития, а также менеджментом предприятий при планировании стратегий циркулярной экономики и межфирменного сотрудничества.

Ключевые слова: промышленный симбиоз, ресурсная микс-модель, синергия, устойчивое развитие, экосистемный подход, циркулярная экономика.

**Developing a Resource Mix Model of a Regional Industrial Symbiosis
Ecosystem***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. Developing a Resource Mix Model of a Regional Industrial Symbiosis Ecosystem // Market economy problems. – 2025. – No. 4. – Pp. 198-209 (In Russian).

DOI: 10.33051/2500-2325-2025-4-198-209

Abstract

Based on research into the ecosystem approach to organizing industrial cooperation in a region, this article proposes a resource mix model of industrial cooperation. Traditional PS models often focus on the linear exchange of material flows (waste, by-products, energy), underestimating the complexity and synergistic potential of interactions between participants. The developed resource mix model represents a multi-level framework for the analysis and design of symbiotic systems, integrating not only material but also intangible resources: information, financial, human, and infrastructural flows. The research results can be used by government agencies to formulate sustainable industrial development policies, as well as by enterprise management when planning circular economy and interfirm cooperation strategies.

Keywords: *industrial symbiosis, resource mix model, synergy, sustainable development, ecosystem approach, circular economy.*

Введение. Современный мир сталкивается с беспрецедентными экологическими проблемами, истощением природных запасов и ужесточением законодательства. Эти вызовы требуют кардинального пересмотра преобладающей линейной модели экономики, основанной на принципе «добыть – использовать – выбросить», и перехода к циркулярной, замкнутой системе. На мезоуровне, уровне регионов, промышленных кластеров и парков, ключевым механизмом внедрения циркулярных принципов выступает промышленный симбиоз (ПС).

Традиционно ПС определяется как взаимовыгодная кооперация территориально близких компаний из разных отраслей, при которой отходы или побочные продукты одного предприятия служат сырьем для другого [1]. В научной литературе это понятие раскрывается шире: как процесс интеграции материальных, водных и энергетических потоков между промышленными субъектами [2, 3], а также как совместное использование инфраструктуры и услуг для достижения целей устойчивого развития [4]. Исследователи подчеркивают, что ПС является краеугольным камнем промышленной экологии [5], заимствуя идею взаимовыгодного обмена ресурсами из природных симбиотических отношений. Успех такого сотрудничества во многом обусловлен географической близостью участников, которая создает основу для синергии [6].

Мировой опыт, включая создание эко-индустриальных парков и самоорганизующихся промышленных экосистем [7], демонстрирует растущий интерес к ПС со стороны таких стран, как Китай, Турция, Колумбия и Южная Африка [8]. Значение ПС для достижения корпоративных целей в области устойчивого развития [9] согласуется с задачей ООН по обеспечению «ответственного потребления и производства» через развитие соответствующей инфраструктуры [10].

Несмотря на активное изучение факторов и барьеров внедрения ПС [11], его современная трактовка эволюционирует. Сегодня он понимается не как простая цепочка обмена материалами, а как сложная «экосистема промышленного симбиоза», объединяющая производственные фирмы, научно-исследовательские институты, государственные органы, финансовые и логистические организации [12]. В такой сети взаимодействие становится многогранным и выходит за рамки материальных потоков.

Большинство существующих исследований и практических кейсов фокусируются на технико-экономической оценке потоков вторичного сырья и энергии [13]. Однако вопрос комплексного управления всем спектром вовлеченных ресурсов, так называемым «ресурсным миксом», остается малоизученным. Этот пробел не позволяет в полной мере раскрыть синергетический потенциал ПС, который заключается не только в снижении экологического

воздействия и издержек, но и в генерации инноваций, повышении устойчивости и конкурентоспособности всей сети [14].

Цель исследования – разработать концепцию ресурсной микс-модели экосистемы ПС и проанализировать ее ключевые элементы для повышения эффективности и устойчивости межфирменного взаимодействия.

Авторы представляют экосистему ПС как динамичную, самоорганизующуюся сеть, где ценность создается за счет синергии разнородных ресурсов. В работе обосновывается теоретический фундамент модели, анализируются ее компоненты, взаимосвязи между ними, а также потенциальные выгоды и барьеры внедрения. Доказывается, что предлагаемый подход позволяет перейти от точечных решений по утилизации отходов к формированию целостных, устойчивых и конкурентоспособных промышленных кластеров, обладающих высокой адаптивностью.

Методология. Исследование опирается на экономико-статистический и системный анализ, что позволило выявить преимущества и проблемы экосистем ПС, оценить их влияние на устойчивое развитие и определить элементы эффективной межотраслевой кооперации. Теоретической базой послужили современные концепции, такие как открытые инновации, циркулярная экономика, ресурсная теория и элементы маркетинг-микса. Анализ этих теорий, а также аспектов межфирменного взаимодействия и управления ресурсами, позволил интегрировать их в единую комплексную модель.

Результаты и обсуждение. Ресурсная микс-модель экосистемы ПС – это концепция, рассматривающая симбиоз как целостную систему, обменивающуюся четырьмя типами ресурсов:

1. Материальные ресурсы.

Классическая основа ПС [15], включающая не только вторичное сырье и отходы (шлаки, золу, пластик, металлолом), побочные продукты (биомасса, CO₂, низкопотенциальное тепло), энергоносители (пар, электроэнергия ВИЭ) и воду, но и совместно используемую инфраструктуру (трубопроводы, ЛЭП, очистные сооружения).

2. Информационные ресурсы.

Критически важный нематериальный актив: данные об отходах, технологические ноу-хау и НДТ, информация о рыночном спросе, цифровые платформы для поиска партнеров, результаты НИОКР в области переработки.

3. Финансовые ресурсы.

Универсальный катализатор сотрудничества: инвестиции в общую инфраструктуру, специальные тарифы на вторичные ресурсы, совместное финансирование НИОКР, государственные гранты, схемы коллективного страхования рисков [16].

4. Человеческие и организационные ресурсы.

Социальный фундамент экосистемы: координационный центр (брокер) ПС, межфирменные рабочие группы, общие обучающие программы, культура доверия и долгосрочного партнерства, поддержка властей.

Ключевое преимущество модели – генерация синергетических эффектов, превосходящих простую сумму выгод от парных сделок [17]. Среди них:

- Снижение транзакционных издержек благодаря единой информационной платформе и доверительным отношениям.
- Рост инновационного потенциала за счет совместных НИОКР и обмена знаниями [18].
- Диверсификация ресурсной базы, что повышает устойчивость экосистемы к рыночным колебаниям и изменениям в регулировании.
- Укрепление репутации «зеленого» и инновационного кластера, привлекающего инвестиции, таланты и лояльных потребителей.

Промышленный симбиоз, зародившийся более 30 лет назад в Дании [19], прошел путь от спонтанных обменов до сложных многоуровневых экосистем, становясь стратегическим инструментом в условиях глобальных вызовов [20]. Для управления ими недостаточно моделей, сфокусированных только на материальных потоках.

Предлагаемая ресурсная микс-модель предлагает экосистемный подход, интегрирующий материальные, информационные, финансовые и человеческие/организационные ресурсы. Она позволяет проектировать связи в ПС не как набор разрозненных транзакций, а как единый синергетический организм. Синергия возникает на стыке ресурсов: информация снижает издержки, финансы обеспечивают реализацию проектов, а человеческий капитал служит основой для долгосрочного сотрудничества.

Концепция интегрирует принципы маркетинг-микса (где классические 4Р – Продукт, Цена, Место, Продвижение – трансформируются применительно к побочным продуктам и сотрудничеству [21]), ресурсной теории (согласно которой симбиотические ресурсы, соответствующие критериям ценности, редкости и уникальности, становятся источником конкурентного преимущества [22, 23]) и циркулярной экономики. Такой комплексный подход открывает путь к созданию устойчивых, адаптивных и конкурентоспособных промышленных кластеров будущего.

Ключевые элементы концепции ресурсной микс-модели экосистемы промышленного симбиоза представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Ключевые элементы концепции ресурсной микс-модели экосистемы
промышленного симбиоза**

Элемент концепции	Содержание элемента	Роль в промышленном симбиозе
Продуктово-ресурсный микс	Основные и побочные продукты, отходы, вторичные ресурсы	Формирование симбиотических цепочек создания ценности
Ценообразование ресурсов	Стоимость продуктов, калькуляция затрат на обработку отходов, ценообразование вторичных ресурсов	Экономическое обоснование симбиотического взаимодействия
Логистико-локационный микс	Каналы распределения продуктов и транспортировки отходов, географическая приближенность	Обеспечение физической возможности обмена ресурсами
Коммуникационный микс	Информация о доступных ресурсах, потребностях, возможностях сотрудничества	Установление и поддержание связей между участниками
Кадрово-компетентный микс	Знания, навыки, компетенции персонала для реализации симбиоза	Обеспечение человеческого фактора для реализации симбиоза
Процессуальный микс	Процессы обмена ресурсами, координации деятельности, принятия решений	Стандартизация и оптимизация взаимодействия
Инфраструктурный микс	Производственные мощности, очистные сооружения, трубопроводы	Физическая инфраструктура для реализации обменов

Промышленный симбиоз, характеризуемый замыканием материальных потоков и преобразованием линейных цепочек создания стоимости в замкнутые циклы, представляет собой практическую реализацию принципов циркулярной экономики на мезо-уровне (уровне регионов и промышленных кластеров). Создание синергии за счет взаимовыгодного сотрудничества между различными отраслями и предприятиями, повышает экологическую и экономическую эффективность, то есть снижение нагрузки на окружающую среду при одновременном повышении прибыльности и достижении целей устойчивого развития предприятий [24].

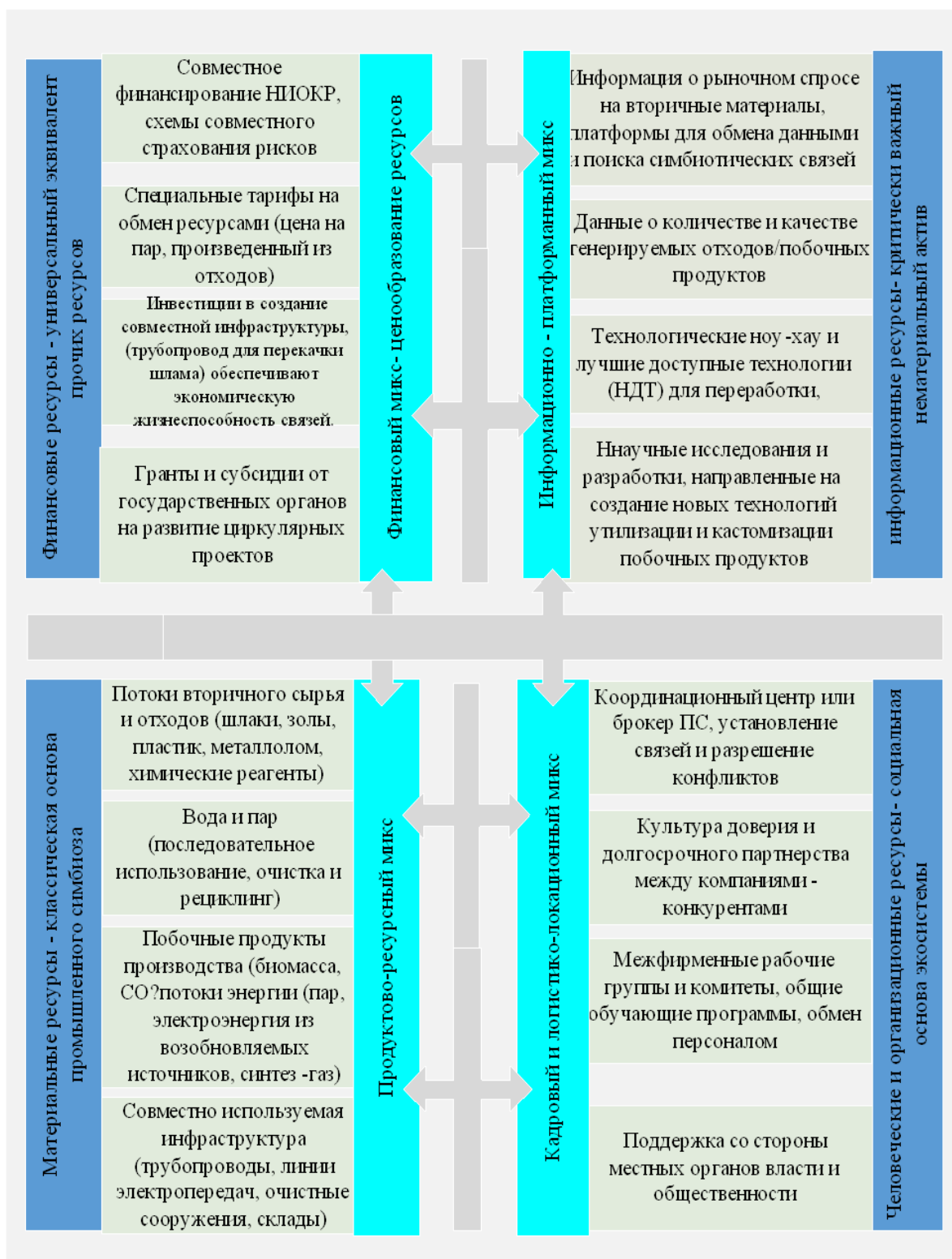


Рис. 1. Ресурсная микс – модель промышленного симбиоза

Основу ресурсной микс-модели составляют три взаимозависимых механизма:

1. Идентификация и отбор ресурсов, предполагает системный аудит материальных потоков на входе и выходе предприятий, обнаружение точек потенциальной синергии и условий для симбиоза, а также согласование ресурсных предложений и потребностей.

2. Координация и управление взаимодействием, включает формирование формальных и неформальных регламентов сотрудничества, институционализацию органов управления экосистемой, урегулирование конфликтов, а также распределение рисков и прибылей.

3. Генерация и распределение ценности, заключается в расчете экономии издержек и формируемой добавочной стоимости, проектировании справедливых систем распределения выгод, оценке и мониторинге социально-экологического эффекта [25].

Продуктивно-ресурсный микс служит материальной основой симбиоза и выступает ядром всей модели. Для повышения его результативности необходимы: стандартизация качества вторичных ресурсов и разработка единых спецификаций для побочных продуктов, пригодных к использованию в качестве сырья; создание детальной системы классификации материальных потоков по их физико-химическим свойствам, потенциалу применения и транспортным параметрам; стимулирование инноваций в области утилизации и проведение совместных НИОКР, направленных на поиск новых способов применения вторичных ресурсов и адаптацию технологий под альтернативное сырье. Эти действия позволяют трансформировать отходы в полноправные рыночные товары, что соответствует парадигме циркулярной экономики.

Ценообразование в рамках промышленного симбиоза носит двойственный характер [26]: оно призвано покрывать издержки на обработку и логистику, одновременно создавая участникам экономические стимулы. Для повышения его эффективности требуется:

- Внедрение трансфертного ценообразования, устанавливающего справедливую стоимость передаваемых ресурсов с учетом альтернативных издержек их утилизации и цены первичного сырья.
- Учет полного жизненного цикла ресурсов при калькуляции затрат и выгод - от их генерации до конечного применения [27].
- Разработка прозрачных механизмов распределения полученной экономии и дополнительной прибыли между участниками, пропорционально их вкладу [28].

Таким образом, эффективная ценовая политика конвертирует экологическую результативность в экономические дивиденды, формируя устойчивую мотивацию для участия в симбиозе [29], [30].

Логистико-локационный микс играет критическую роль, так как от его эффективности напрямую зависят экономические и экологические показатели симбиоза. Его оптимизация включает:

- Создание интегрированной логистической системы для централизованного планирования и контроля потоков ресурсов.
- Оптимизацию маршрутов и графиков транспортировки, минимизирующую издержки и экологический след за счет консолидации грузов.
- Организацию логистических хабов - централизованных пунктов для сбора, обработки и дистрибуции вторичных ресурсов.

Хотя географическая близость традиционно считается важным фактором, современные логистические решения позволяют выстраивать эффективные симбиотические связи и между территориально удаленными предприятиями.

Кадрово-компетентностный микс, основанный на человеческом капитале и организационных способностях, является ключевым элементом успешной реализации симбиоза. Его развитие базируется на:

- Формировании симбиотического мышления через обучение сотрудников принципам циркулярной экономики и демонстрацию выгод межфирменной кооперации.
- Развитии межорганизационных компетенций, включая навыки взаимодействия, ведения переговоров и разрешения конфликтов.
- Создании кросс-функциональных команд из представителей разных компаний для поиска и реализации новых возможностей симбиоза.
- Согласно ресурсной теории, именно уникальные компетенции и организационные способности формируют наиболее устойчивое конкурентное преимущество, поскольку их практически невозможно воспроизвести.

Внедрение ресурсной микс-модели требует поэтапного подхода. Начальным этапом служит диагностический аудит, который представляет собой всестороннее исследование материально-

энергетических потоков предприятий-кандидатов. В его рамках оценивается текущая ресурсная эффективность и выявляются потенциальные точки для кооперации. Итогом аудита становится формирование стратегии симбиоза: определяются приоритетные векторы развития взаимодействий, ставятся конкретные цели и KPI, а также учреждается организационная структура управления. Ключевым элементом последней является координационный орган (к примеру, центральный офис промышленного симбиоза), курирующий коммуникации между участниками.

Для правового обеспечения процесса компаниям необходимо сформировать договорно-нормативную базу, разработав типовые регламенты, процедуры и контракты, регулирующие обмен ресурсами. После выполнения этих условий становится возможным запуск пилотных проектов - поэтапное внедрение симбиотических обменов, стартующее с наиболее реалистичных и малоприбыльных вариантов. На всех стадиях важен мониторинг и оценка достижений: требуется регулярно фиксировать экономические, экологические и социальные результаты, при необходимости внося коррективы в модель.

Внедрение модели сопряжено с рядом барьеров и рисков, которые необходимо учитывать:

- технологические - несовместимость производственных циклов и стандартов качества сырья, дефицит необходимых перерабатывающих мощностей;
- экономические - волатильность объемов и качества вторичных ресурсов, колебания рыночных цен на первичное сырье, значительные первоначальные инвестиции;
- организационные - неготовность к открытому обмену информацией, низкий уровень доверия между компаниями, различия в корпоративных культурах;
- нормативные- законодательные ограничения на применение отдельных видов отходов, бюрократические сложности с лицензированием.

Для оценки успешности ресурсной микс-модели применяется сбалансированная система показателей, которая включает четыре ключевых аспекта, представленных в таблице 2.

Таблица 2

Система показателей эффективности ресурсной микс-модели промышленного симбиоза

Перспектива	Ключевые показатели
Экономическая	Снижение затрат на утилизацию; доход от реализации вторичных ресурсов; уменьшение расходов на сырье; рентабельность инвестиций в инфраструктуру
Экологическая	Сокращение объемов захоронения отходов; снижение выбросов парниковых газов; экономия первичных ресурсов; уменьшение энергопотребления
Операционная	Количество установленных симбиотических связей; уровень загрузки перерабатывающих мощностей; надежность цепочек поставок ресурсов
Организационная	Удовлетворенность участников; степень доверия между предприятиями; количество совместных инновационных проектов

Для минимизации этих препятствий необходима комплексная поддержка со стороны государства, включающая финансовые стимулы, методическую помощь и совершенствование нормативно-правового поля.

Разработанная концепция ресурсной микс-модели экосистемы промышленного симбиоза является инструментом для повышения эффективности и устойчивости межфирменного взаимодействия. Модель, интегрирующая принципы ресурсной теории, элементы маркетинг-микса и постулаты циркулярной экономики, предлагает системный подход к организации симбиотических связей.

К основным преимуществам модели относятся:

- системность - рассмотрение промышленного симбиоза как целостной системы взаимосвязанных элементов;
- сбалансированность - учет экономических, экологических и организационных аспектов устойчивости;

- адаптивность - возможность применения в различных отраслевых и региональных условиях;

- практическая ориентированность - включение конкретных инструментов и механизмов реализации.

Дальнейшее развитие концепции связано с ее цифровизацией - созданием специализированных платформ для управления симбиотическими взаимодействиями и подбора ресурсов, а также с интеграцией в другие подходы к устойчивому развитию, такие как «зеленые» цепочки создания стоимости, индустриальная экология и устойчивое производство и потребление.

Ресурсная микс-модель представляет собой эволюционный этап в развитии концепции промышленного симбиоза, поднимая ее на экосистемный уровень и расширяя фокус с материальных на нематериальные потоки (информационные, финансовые, человеческие). Ее внедрение способствует формированию нового качества межфирменного взаимодействия, для которого характерны повышенная ресурсоэффективность, рост конкурентоспособности предприятий и снижение экологической нагрузки, что соответствует глобальным целям устойчивого развития.

Применение модели позволяет достичь значительного синергетического эффекта, включая сокращение издержек, генерацию инноваций, повышение устойчивости к внешним шокам и усиление конкурентных преимуществ всего промышленного кластера. Однако ее реализация требует преодоления серьезных барьеров, связанных с конфиденциальностью данных, объемом инвестиций и институциональными нормами, что обуславливает важную роль координаторов и государственной поддержки.

Перспективные направления для дальнейших исследований - разработка методик количественной оценки синергетических эффектов ресурсного микса и создание цифровых платформ-«посредников» для эффективного управления всеми типами потоков в экосистеме. Ресурсная микс-модель является перспективным инструментом для перехода к циркулярной промышленности, где отходы трансформируются не просто в ресурсы, а в источник новых возможностей для кооперации и развития.

Литература

1. Колобов Р.Ю. Влияние концепций промышленного симбиоза на формирование нормативно-правовой базы экономической деятельности: российский и зарубежный опыт. *Russian Journal of Economics and Law*. 2025;19(2):257-272. <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2025.2.257-272>.
2. Ashton W (2008) Understanding the organization of industrial ecosystems. *J Ind Ecol* 12:34–51. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00002.x>.
3. Blass V (2019) Industrial symbiosis in Israel. In: *International society for industrial ecology*. <https://is4ie.org/media/783>. Accessed 31 July 2019.
4. Boons F, Chertow M, Park J et al (2017) Industrial symbiosis dynamics and the problem of equivalence: proposal for a comparative framework. *J Ind Ecol* 21:938–952. <https://doi.org/10.1111/jiec.12468>.
5. X. Li, *Industrial Ecology and Industry Symbiosis for Environmental Sustainability*, Te Author(s) 2018 https://doi.org/10.1007/978-3-319-67501-5_2.
6. Chertow MR (2000) Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annu Rev Energy Environ* 25:313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>.
7. Chertow MR (2007) “Uncovering” industrial symbiosis. *J Ind Ecol* 11:11–30. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>.
8. W. Leal Filho et al. (eds.), *Responsible Consumption and Production*, *Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, Springer Nature Switzerland AG 2020 https://doi.org/10.1007/978-3-319-71062-4_19-2.
9. Chertow M, Park J (2016) Scholarship and practice in industrial symbiosis: 1989–2014. In: Clift R, Druckman A (eds) *Taking stock of industrial ecology*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, pp 87–116.

10. United Nations (2016) About the sustainable development goals. In: United Nations sustainable development. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Accessed 18 Mar 2019.
11. Shi H, Chertow M, Song Y (2010) Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin economic-technological development area in China. *J Clean Prod* 18:191–199. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.002>.
12. Walls JL, Paquin RL (2015) Organizational perspectives of industrial Symbiosis: a review and synthesis. *Organ Environ* 28:32–53. <https://doi.org/10.1177/1086026615575333>.
13. Никуличев Ю.В. Управление отходами. Опыт Европейского союза. Аналит. обзор // РАН. ИНИОН. Центр науч.-информ. исслед. глоб. и регионал. пробл. Отд. проб. европ. безопасности. – М., 2017. – 55 с. EDN: VNMDYV.
14. Толстых, Т. О. Образование промышленных симбиозов как способ достижения целей устойчивого развития / Т. О. Толстых, А. А. Гераскина // Промышленность: экономика, управление, технологии. – 2023. – Т. 2, № 2(5). – С. 6-15. – EDN ERNWJU.
15. 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.
16. Chertow M.R. (2007). "Uncovering" industrial symbiosis // *Journal of Industrial Ecology*. V. 11, no. 1. Pp. 11-30. DOI: 10.1162/jiec.2007.1110
17. Клейнер, Г. Б. Экономика экосистем: шаг в будущее / Г. Б. Клейнер // Экономическое возрождение России. – 2019. – № 1(59). – С. 40-45. – EDN YYIULJ.
18. Чернышова, Д. С. Промышленный симбиоз как инструмент межотраслевого взаимодействия / Д. С. Чернышова // Экономический вестник ИПУ РАН. – 2022. – Т. 3, № 1. – С. 57-63. – DOI 10.25728/econbull.2022.1.5-chernyshova. – EDN DWRUBW.
19. Зинченко, А. С. Инновационные инструменты вовлечения промышленных предприятий в кооперационные цепочки для совместного выхода на международные рынки / А. С. Зинченко, Д. А. Фокина, Т. А. Куприянова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов X Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию академика М.Ф. Решетнева и Дню космонавтики. В 3-х томах, Красноярск, 08–12 апреля 2024 года. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2024. – С. 590-592. – EDN NAQCCQ.
20. Frank Boons, Wouter Spekkink, Ralf Isenmann (eds) (2015) Comparing industrial symbiosis in Europe: Towards a conceptual framework and research methodology, *International Perspectives on Industrial Ecology*, Cheltenham UK and Northampton MA, USA: Edward Elgar Publishing. Pp. 69-88.
21. The industrial region as a promising unit for eco-industrial development-reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology. *J Clean Prod* 12:947–965. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.029>.
22. Гуляева Е.М. Концепция маркетинг - mix: теоретический аспект // Бюллетень СГМУ. 2016. № 1 (36). С. 330 - 331. EDN: YUGVUN.
23. Конопляник, Т. М. Ресурсная теория в условиях цифровизации: инвентаризация как необходимый элемент контроля сохранности активов организации / Т. М. Конопляник // Проблемы современной экономики. – 2021. – № 1(77). – С. 82-85. – EDN NUPLFR.
24. Преображенский, Б. Г. Промышленный симбиоз как инструмент циркулярной экономики / Б. Г. Преображенский, Т. О. Толстых, Н. В. Шмелева // Регион: системы, экономика, управление. – 2020. – № 4(51). – С. 37-48. – DOI 10.22394/1997-4469-2020-51-4-37-48. – EDN GPXUMW.
25. 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).
26. Миронова, Д. Ю. Исследование востребованности и перспектив развития промышленного симбиоза в России / Д. Ю. Миронова, И. В. Баранов, А. Г. Будрин // Вестник

гражданских инженеров. – 2023. – № 6(101). – С. 145-153. – DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-6-145-153. – EDN DKNUAX.

27. Модели циркулярной экономики в ресурсобеспечении индустриального развития регионов / Л. Г. Матвеева, Н. А. Косолапова, Е. В. Каплюк, Е. А. Лихацкая // *Terra Economicus*. – 2022. – Т. 20, № 3. – С. 116-132. – DOI 10.18522/2073-6606-2022-20-3-116-132. – EDN CJGZQQ.

28. Comparing industrial symbiosis in Europe: Towards a conceptual framework and research methodology. Available from: https://www.researchgate.net/publication/283782645_Comparing_industrial_symbiosis_in_Europe_Towards_a_conceptual_framework_and_research_methodology [accessed Sep 30 2025]. Sterr T, Ott T (2004).

29. Ashton, W.S. (2009), 'The structure, function, and evolution of a regional industrial ecosystem', *Journal of Industrial Ecology*, 13, 228–246.

30. Ashton, W.S. (2009), 'The structure, function, and evolution of a regional industrial ecosystem', *Journal of Industrial Ecology*, 13, 228–246.

31. Mirata, M. and T. Emtairah (2005), 'Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: The case of the Landskrona industrial symbiosis programme', *Journal of Cleaner Production*, 13, 993-1002.

References

1. Kolobov R.Y. The influence of industrial symbiosis concepts on the formation of the regulatory framework of economic activity: Russian and foreign experience. *Russian Journal of Economics and Law*. 2025;19(2):257-272. <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2025.2.257-272>.

2. Ashton W (2008) Understanding the organization of industrial ecosystems. *J Ind Ecol* 12:34–51. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00002.x>.

3. Blass V (2019) Industrial symbiosis in Israel. In: *International society for industrial ecology*. <https://is4ie.org/media/783>. Accessed 31 July 2019. Boons F, Spekkink W, Mouzakitis Y (2011).

4. Boons F, Chertow M, Park J et al (2017) Industrial symbiosis dynamics and the problem of equivalence: proposal for a comparative framework. *J Ind Ecol* 21:938–952. <https://doi.org/10.1111/jiec.12468>.

5. X. Li, *Industrial Ecology and Industry Symbiosis for Environmental Sustainability*, Te Author(s) 2018 https://doi.org/10.1007/978-3-319-67501-5_2.

6. Chertow MR (2000) Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annu Rev Energy Environ* 25:313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>.

7. Chertow MR (2007) "Uncovering" industrial symbiosis. *J Ind Ecol* 11:11–30. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>.

8. W. Leal Filho et al. (eds.), *Responsible Consumption and Production, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, Springer Nature Switzerland AG 2020 https://doi.org/10.1007/978-3-319-71062-4_19-2.

9. Chertow M, Park J (2016) Scholarship and practice in industrial symbiosis: 1989–2014. In: Clift R, Druckman A (eds) *Taking stock of industrial ecology*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, pp 87–116.

10. United Nations (2016) About the sustainable development goals. In: *United Nations sustainable development*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Accessed 18 Mar 2019.

11. Shi H, Chertow M, Song Y (2010) Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin economic-technological development area in China. *J Clean Prod* 18:191–199. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.002>.

12. Walls JL, Paquin RL (2015) Organizational perspectives of industrial Symbiosis: a review and synthesis. *Organ Environ* 28:32–53. <https://doi.org/10.1177/1086026615575333>.

13. Nikulichev Yu.V. Waste management. The experience of the European Union. The analyte. review // RAN. INION. Scientific Information Center. research. the globe. and regional. probl. Separate samples. Europe. security. Moscow, 2017. 55 p. EDN: VNMDYV.

14. Tolstykh, T. O. The formation of industrial symbioses as a way to achieve the goals of sustainable development / T. O. Tolstykh, A. A. Geraskina // *Industry: economics, management, technology*. – 2023. – Vol. 2, No. 2(5). – pp. 6-15. – EDN ERNWJU.
15. 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.
16. Chertow M.R. (2007). "Uncovering" industrial symbiosis // *Journal of Industrial Ecology*. V. 11, no. 1. Pp. 11-30. DOI: 10.1162/jiec.2007.1110.
17. Kleiner, G. B. Economics of ecosystems: step into the future / G. B. Kleiner // *The economic revival of Russia*. – 2019. – № 1(59). – Pp. 40-45. – EDN YYIULJ.
18. Chernyshova, D. S. Industrial symbiosis as a tool for intersectoral cooperation / D. S. Chernyshova // *Economic Bulletin of IPU RAS*. – 2022. – Vol. 3, No. 1. – pp. 57-63. – DOI 10.25728/econbull.2022.1.5-chernyshova. – EDN DWRUBW.
19. Zinchenko, A. S. Innovative tools for involving industrial enterprises in cooperative chains for joint entry into international markets / A. S. Zinchenko, D. A. Fokina, T. A. Kupriyanova // *Actual problems of aviation and cosmonautics: A collection of materials from the X International Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of Academician M.F. Reshetnev and Cosmonautics Day*. In 3 volumes, Krasnoyarsk, April 08-12, 2024. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, 2024. – pp. 590-592. – EDN NAQCCQ.
20. Frank Boons, Wouter Spekkink, Ralf Isenmann (eds) (2015) *Comparing industrial symbiosis in Europe: Towards a conceptual framework and research methodology*, International Perspectives on Industrial Ecology, Cheltenham UK and Northampton MA, USA: Edward Elgar Publishing. Pp. 69-88.
21. The industrial region as a promising unit for eco-industrial development-reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology. *J Clean Prod* 12:947–965. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.029>.
22. Gulyaeva E.M. The concept of marketing mix: a theoretical aspect // *Bulletin of SSMU*. 2016. No. 1 (36). pp. 330-331. EDN: YUGVUN.
23. Konoplyannik, T. M. Resource theory in the context of digitalization: inventory as a necessary element of controlling the safety of an organization's assets / T. M. Konoplyannik // *Problems of modern Economics*. – 2021. – № 1(77). – Pp. 82-85. – EDN NUPLFR.
24. Preobrazhensky, B. G. Industrial symbiosis as a tool of circular economy / B. G. Preobrazhensky, T. O. Tolstykh, N. V. Shmeleva // *Region: systems, economics, management*. – 2020. – № 4(51). – Pp. 37-48. – DOI 10.22394/1997-4469-2020-51-4-37-48. – EDN GPXUMW.
25. 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).
26. Mironova, D. Y. A study of the relevance and prospects for the development of industrial symbiosis in Russia / D. Y. Mironova, I. V. Baranov, A. G. Budrin // *Bulletin of Civil Engineers*. – 2023. – № 6(101). – Pp. 145-153. – DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-6-145-153. – EDN DKNUAX.
27. Models of circular economy in the resource supply of industrial development of regions / L. G. Matveeva, N. A. Kosolapova, E. V. Kaplyuk, E. A. Likhatskaya // *Terra Economicus*. – 2022. – Vol. 20, No. 3. – pp. 116-132. – DOI 10.18522/2073-6606-2022-20-3-116-132. – EDN CJGZQQ.
28. Comparing industrial symbiosis in Europe: Towards a conceptual framework and research methodology. Available from: https://www.researchgate.net/publication/283782645_Comparing_industrial_symbiosis_in_Europe_Towards_a_conceptual_framework_and_research_methodology [accessed Sep 30 2025]. Sterr T, Ott T (2004).
29. Ashton, W.S. (2009), 'The structure, function, and evolution of a regional industrial ecosystem', *Journal of Industrial Ecology*, 13, 228–246.

30. Ashton, W.S. (2009), 'The structure, function, and evolution of a regional industrial ecosystem', *Journal of Industrial Ecology*, 13, 228–246.

31. Mirata, M. and T. Emtairah (2005), 'Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: The case of the Landskrona industrial symbiosis programme', *Journal of Cleaner Production*, 13, 993-1002.

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.