

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РЕСУРСНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Н. В. Шмелева

Национальный исследовательский технологический
университет «МИСИС», Москва, Россия
nshmeleva@misis.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Актуальность исследования вызвана необходимостью поиска новых подходов и приоритетов промышленной политики, разработки направлений повышения ресурсной и экологической эффективности экономики для обеспечения технологического суверенитета ключевых отраслей экономики и страны в целом. Рассматриваются теоретико-методологические аспекты экосистемного взаимодействия в промышленности, дается развернутая характеристика и сравнительный анализ экономических категорий «промышленная экосистема», «ресурсоэффективность», «эффект декаплинга». *Материалы и методы.* Методической основой исследования являются общенаучные эмпирико-теоретические методы системного анализа, абстрагирования, анализа и синтеза, моделирования. Методология системного анализа выполняет роль каркаса, объединяющего все необходимые методы, исследовательские приемы, мероприятия для решения проблемы повышения ресурсной эффективности промышленных экосистем. Синергетический подход позволяет учитывать динамический аспект развития предприятий и промышленных экосистем. *Результаты.* Предложена комплексная методика, позволяющая оценить ресурсную эффективность как отдельных акторов, так и промышленной экосистемы в целом. Методика апробирована на примере промышленной экосистемы «Зеленый цемент», функционирующей на основе симбиотических связей между горно-металлургическими компаниями и предприятиями цементной отрасли. *Выводы.* Проведенные расчеты позволили сделать вывод о наличии «абсолютного» эффекта декаплинга в анализируемой промышленной экосистеме. Изложенные методические подходы могут быть использованы как отдельно для экспресс-анализа, так и в качестве комплексного инструментария ресурсной эффективности промышленных предприятий и экосистем.

Ключевые слова: экосистемное взаимодействие, промышленная экосистема, ресурсная эффективность, эффект декаплинга

Финансирование: исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-28-01548 «Интеграция предприятий в инновационные промышленные экосистемы для формирования окон возможностей развития и реализации политики импортонезависимости».

Для цитирования: Шмелева Н. В. Методические подходы к оценке ресурсной эффективности промышленных экосистем // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 1. С. 70–84. doi:10.21685/2227-8486-2023-1-4

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE RESOURCE EFFICIENCY OF INDUSTRIAL ECOSYSTEMS

N.V. Shmeleva

National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia
nshmeleva@misis.ru

Abstract. *Background.* The importance of the research is caused by the need to search for new approaches and priorities of industrial policy, to develop directions for improving the resource and environmental efficiency of the economy to ensure the technological sovereignty of key sectors of the economy and the country. Theoretical and methodological aspects of ecosystem interaction in industry are considered, a detailed description and comparative analysis of the economic categories "industrial ecosystem", "resource efficiency", "decoupling effect" are given. *Materials and methods.* The methodological basis of the research is the general scientific empirical-theoretical methods of system analysis, abstraction, analysis and synthesis, modeling. The methodology of system analysis serves as a framework that combines all the necessary methods, research techniques, and measures to solve the problem of increasing the resource efficiency of industrial ecosystems. The synergetic approach allows considering the dynamic aspect of the development of enterprises and industrial ecosystems. *Results.* A comprehensive methodology is proposed to assess the resource efficiency of both individual actors and the industrial ecosystem. The methodology is tested on the example of the industrial ecosystem "Green Cement", functioning based on symbiotic relationships between mining and metallurgical companies and enterprises of the cement industry. *Conclusions.* The calculations made it possible to conclude that there is an "absolute" decoupling effect in the analyzed industrial ecosystem. The methodological approaches described in the article can be used both separately for express analysis and as a comprehensive tool for resource efficiency of industrial enterprises and ecosystems.

Keywords: ecosystem interaction, industrial ecosystem, resource efficiency, decoupling effect

Acknowledgments: the study was supported by the grant of the Russian Science Foundation № 23-28-01548 "Integration of enterprises into innovative industrial ecosystems for the formation of windows of opportunity for development and implementation of import-independence policy".

For citation: Shmeleva N.V. Methodological approaches to assessing the resource efficiency of industrial ecosystems. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2023;(1):70–84. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2023-1-4

Введение

Глобальные вызовы меняют подходы к развитию социально-экономических систем в сторону ресурсоэффективности и декарбонизации за счет сокращения выбросов парниковых газов без ущерба для темпов социально-экономического развития. Современная геополитическая карта с разрывами промышленно-технологических связей привела к необходимости рестарта промышленного обустройства экономического пространства и выстраивания новых технологических цепочек. В соответствии со стратегией пространственного

развития Российской Федерации на период до 2025 года¹ формирование макрорегионов относится к числу ключевых задач развития и достигается за счет использования потенциала межрегиональной интеграции, с эффективной специализацией и кооперацией промышленных предприятий, а также согласования и взаимоувязки приоритетов отраслевого и территориального развития стратегического планирования.

Значительное ускорение и усложнение экономических процессов определили появление сетевых форм взаимодействия между экономическими субъектами, развитие которых привело к трансформации структуры экономики: сети становятся наиболее продуктивными и перспективными формами взаимодействия хозяйствующих субъектов. В основе новой парадигмы лежит трансформация процессов взаимодействия между экономическими агентами и построение коллаборативных связей через реализацию экосистемных моделей.

Понятие «экосистема» в современной науке малоизучено и трактуется неоднозначно. Родоначальником применения метафоры «экосистема» к бизнесу принято считать Дж. Ф. Мура, который предложил исследовать взаимозависимость фирм, а также процесс комплексного взаимодействия между конкурентной и кооперационной стратегиями бизнеса, определив экосистему как «экономическое сообщество, поддерживаемое базисом из взаимодействующих организаций и отдельных лиц» [1]. Промышленные экосистемы впервые стали рассматриваться в контексте промышленной экологии. R. A. Frosch, N. E. Gallopoulos определяют промышленную экосистему как «модель промышленной деятельности, в которой отдельные производственные процессы потребляют сырье и генерируют продукцию, подлежащую продаже, и отходы, подлежащие переработке» [2]. J. Koghonen полагает, что «промышленная экосистема – это модель промышленной деятельности, представляющей собой локализованные социально-экономические формации, обеспечивающие устойчивое развитие посредством рециркуляции входных и выходных ресурсов» [3]. В трактовке Б. Г. Клейнера «промышленные экосистемы – это локализованные социально-экономические формации, обеспечивающие устойчивое развитие посредством циркуляции ресурсов в целевой, экологической, технологической и проектной подсистемах» [4].

Другой подход описан в трудах J. Wareham, P. V. Fox [5]. Авторы определяют промышленные экосистемы как «сложные системы 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».

Промышленные экосистемы – это «совокупность взаимодействующих экономических субъектов, не управляющихся иерархически и адаптирующихся друг к другу на основе профессиональных коммуникационных площадок, созданных промышленным архитектором» (Е. В. Попов и др., 2019) [6]. Дж. Уэрхем определяет промышленные экосистемы как «набор компонентов, созданных владельцем продуктовой платформы, и инноваций, разрабатываемых независимыми акторами вне платформы» [7]. Проскурнин С. Д. считает,

¹ Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года : распоряжение Правительства РФ № 207-р от 13.02.2019 : [ред. от 25.06.2022]

что промышленная экосистема является самоорганизующейся, саморегулирующейся и саморазвивающейся открытой системой, характеризующейся входными потоками идей, стоимости, людей, информации, ресурсов. Но из данного определения не совсем ясна цель самоорганизации акторов [8].

Под промышленной экосистемой автор предлагает понимать подход, объединяющий как промышленные предприятия, 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.

Материалы и методы

В международной практике для оценки ресурсоэффективности используют набор показателей, представленный в дорожной карте «К ресурсосберегающей Европе»¹. Однако данный подход имеет ряд ограничений: отсутствует оценка уровня загрязнения окружающей среды за пределами границ исследуемой территории; не учитывается ограниченность и экономическая ценность ресурсов, а также качественные изменения [9].

Кроме того, классические методики оценки эффективности не подходят для сетевых интеграционных объединений, так как в большей части являются статическими, а в динамических методах учитывается только фактор времени через систему дисконтирования. Промышленные, инновационные и территориальные экосистемы относятся к типу открытых синергетических систем, в которых происходит постоянная диффузия знаний, технологий и ресурсов. Соответственно, при интеграции возникают сетевые спилловер-эффекты.

Предложенная автором методика оценки промышленных экосистем основана на концепциях общей экономической ценности, альтернативной стоимости (упущенная выгода) и методологии Т. Гилберта (Т. Gilbert) [10]. В основе его теории лежит балансовый метод изучения ресурсной эффективности, обеспечивающий комплексный анализ ресурсных потоков.

Концепция общей экономической ценности (TEV), описанная М. Портером и М. Креймером, учитывает прямые и ассимиляционные функции при оценке ресурсной эффективности [11].

Общие ценности создаются тремя основными способами:

- 1) переосмысление продуктов и рынков;
- 2) повышение эффективности в цепочке создания стоимости;
- 3) развитие интеграционных сетевых форм взаимодействия.

Концепция альтернативной стоимости (упущенная выгода) в экономике природопользования используется при оценке ресурсов через упущенные доходы, которые можно было бы получить от их альтернативного использования. Чем меньше альтернативная стоимость природного ресурса, тем меньше нужно затрат для компенсации экономических потерь от сохранения этого блага.

Авторская методика оценки промышленных экосистем состоит из пяти этапов, в каждом предложены подходы, которые могут быть использованы как отдельно для экспресс-анализа, так и в качестве комплексного инструментария ресурсной эффективности промышленных предприятий и экосистем (рис. 1).

¹ Roadmap to a Resource Efficient Europe, 2011, European commission. P. 26.

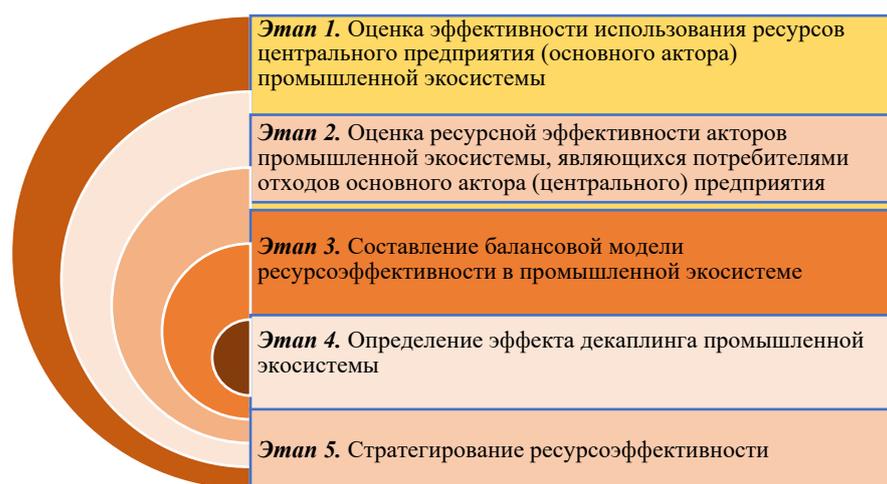


Рис. 1. Методика оценки ресурсной эффективности промышленных экосистем

Этап 1. Оценка эффективности использования ресурсов центрального предприятия (основного актора) промышленной экосистемы

Объединение предприятий на основе симбиотических связей для обеспечения циркуляции побочных ресурсов ориентировано на сведение к минимуму потребления первичных ресурсов и количества образующихся отходов. Понимание необходимости повышения ресурсной и экологической эффективности, важности реализации проектов по технологической модернизации, стремление к совместному поиску оптимальных технических решений, а также технологическая возможность одного из партнеров использовать побочные продукты другого, являются стимулами в формировании симбиотического партнерства. В результате возникает экономия на платежах за загрязнение окружающей среды, дополнительные доходы от продажи продукции (отходов), снижается размер эколого-экономического ущерба.

Формула для оценки ресурсной эффективности (Θ_p) основного (центрального) предприятия, являющегося актором промышленной экосистемы, функционирующей на основе симбиотических связей, в результате деятельности которого образуются отходы, являющиеся первичными ресурсами для других предприятий:

$$\Theta_p = \sum_{t=1}^n \frac{V_{\text{отх}} + \Delta\Pi_{\text{л}} + \Delta Z_{\text{отх}} \pm \Delta T_p + A}{(1+d)^t} - \sum_{t=1}^m \frac{I_t}{(1+d)^t}, \quad (1)$$

где $V_{\text{отх}}$ – годовой объем отходов в стоимостном выражении, руб.; $\Delta\Pi_{\text{л}}$ – сокращение платежей за загрязнение окружающей среды, хранение отходов, руб.; $\Delta Z_{\text{отх}}$ – изменение затрат на сбор и утилизацию отходов, руб.; ΔT_p – сокращение (увеличение) транспортных расходов, руб.; I_t – инвестиции в инновационные технологии в период времени t , руб.; A – амортизация, руб.; d – ставка дисконтирования.

Другой подход к оценке ресурсоэффективности промышленных предприятий базируется на сравнительном анализе показателей эффективности использования ресурсов, таких как энергоёмкость, материалоемкость, углеродоемкость.

Индикатор материалоемкости отражает развитие производственных процессов с более высокой добавленной стоимостью, интенсивность потребления сырья и материалов.

Основным критерием энергетической емкости считается численное выражение, которое представляет собой отношение энергии к величине результата эффективности системы (стоимости продукции и услуг).

Углеродоемкость определяется эмиссией парниковых газов, рассчитывается в единицах так называемого CO₂-эквивалента на единицу произведенной продукции (тонну или, при производстве энергии, гигаджоуль).

Этап 2. Оценка ресурсной эффективности акторов промышленной экосистемы, являющихся потребителями отходов основного актора (центрального) предприятия

Стремление промышленных компаний к экосистемной коллаборации отражает степень коллаборативной зрелости предприятий, их активность, согласованность и готовность к сотрудничеству. Эффективность использования энергии, материалов, сырья и прочих ресурсов компаний предлагается оценивать по формуле

$$\Theta_p = \sum_{t=1}^n \frac{O_c + \Delta Z_{\text{отх}} \pm \Delta \text{Tr} + A}{(1+d)^t} - \sum_{t=1}^m \frac{I_t}{(1+d)^t}, \quad (2)$$

где O_c – годовой объем (количество) отходов, используемых в качестве сырья (вместо первичных ресурсов) в стоимостном выражении, руб.

В результате симбиотического партнерства в промышленных экосистемах возникают спилловер-эффекты («spillover effects», «дополнительные, не учитываемые эффекты»). К положительным спилловер-эффектам можно отнести снижение ущерба, наносимого окружающей среде деятельностью промышленных предприятий, повышение качества жизни людей, проживающих в регионах присутствия и т.д.

Этап 3. Составление балансовой модели ресурсоэффективности в промышленной экосистеме

Ресурсоэффективность промышленных предприятий и промышленных экосистем можно оценить с позиции баланса материальных потоков [12–14].

Отходы производства и потребления, образующиеся на промышленных предприятиях, а также отходы, накопленные от прошлой хозяйственной деятельности, подвергаются переработке на специализированных предприятиях и возвращаются в экономику в виде вторичной продукции. Таким образом, создается схема движения потоков отходов, которая может быть описана математическим способом с помощью системы балансовых уравнений.

Балансовое уравнение в схеме материальных потоков имеет вид

$$\sum X_i = \sum Y_i + \sum Z_i, \quad (3)$$

где $\sum x_i$ – суммарное количество ресурсов, потребляемых предприятием; $\sum y_i$ – суммарное количество продукции, произведенной предприятием/холдингом; $\sum z_i$ – суммарное количество отходов, произведенных промышленным предприятием и размещенных в окружающей среде.

При создании замкнутой схемы потоков ресурсов количество произведенных и размещенных в окружающей среде отходов должно стремиться к 0,

т.е. система управления отходами обеспечивает выполнение условия $\sum Z_i \rightarrow 0$. Следовательно, в переработку вовлечены образующиеся и накопленные отходы производства и потребления с дальнейшим производством на их основе вторичного сырья и продукции, которые заменяют первичное сырье и другие технологические компоненты. Это возможно в связи с тем, что переработка отходов промышленных предприятий включает прежде всего извлечение содержащихся в них компонентов, которые представляют технологическую ценность, главным образом для этих же промышленных предприятий.

В результате функционирования промышленного предприятия суммарное количество произведенных отходов должно быть равно суммарному количеству произведенных на их основе вторичных ресурсов и готовой продукции:

$$\sum Z_i = \sum X'_i + \sum Y'_i, \quad (4)$$

где $\sum Y'_i$ и $\sum X'_i$ – суммарное количество вторичных ресурсов и продукции из них, произведенных предприятиями. Тогда балансовое уравнение материальных потоков промышленной экосистемы примет вид

$$\sum X_i = \sum Y_i + \sum X'_i + \sum Y'_i. \quad (5)$$

Это уравнение соответствует схеме материальных потоков, созданной на основе моделей экономики замкнутого цикла.

Этап 4. Определение эффекта декаплинга промышленной экосистемы

Однако ресурсоэффективность лишь показывает, что экономическое развитие опережает рост использования сырья и увеличение выбросов, а не абсолютное снижение нагрузки на окружающую среду. В связи с этим при оценке ресурсной эффективности промышленных экосистем автор предлагает определять эффект декаплинга. Декаплинг (decoupling) – «разъединение, разрыв связей». Данный термин используется для описания ситуаций, когда процессы, имеющие прямую корреляционную связь, начинают развиваться в противоположных направлениях (рис. 2).

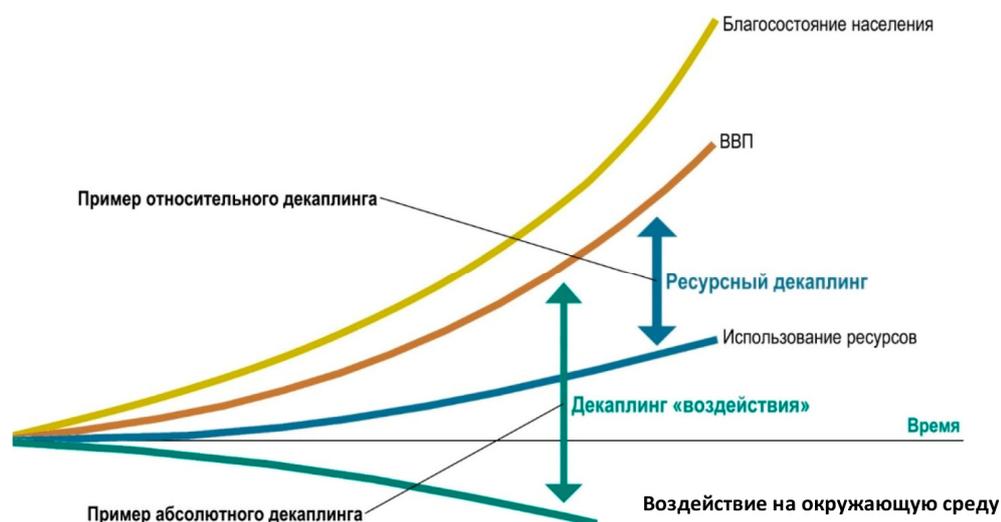


Рис. 2. Эффект декаплинга [15, 16]

Повышение ресурсной эффективности промышленных экосистем в рамках ресурсного декарпинга направлено на решение проблемы истощения природных ресурсов и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду. Эффект декарпинга (D_I) можно определить через индекс декарпинга по формуле

$$D_I = TR / TY, \quad (6)$$

где TR – относительное изменение, экономия от снижения потребления ресурсов за определенный период; TY – относительное изменение, рост доходов или стоимости промышленных предприятий за аналогичный период.

Описание возможных эффектов декарпинга представлено на рис. 3.



Рис. 3. Характеристика эффектов декарпинга
(составлено автором на основе [17, 19, 20])

Описанная выше методика позволяет не только оценивать экономические последствия нерационального использования ресурсов, но и является основой для разработки стратегии ресурсосбережения на мезоуровне (регионы, территории) и стратегию снижения затрат на микроуровне (промышленные предприятия, симбиозы, экосистемы).

Этап 5. Стратегирование ресурсоэффективности

Под стратегией ресурсосбережения промышленной экосистемы понимают «систему долгосрочных целей ресурсосберегающей деятельности промышленных акторов, определяемых общими задачами развития экосистемы, а также выбор наиболее эффективных путей их достижения». Ресурсоэффективную стратегию можно представить как генеральное направление (программу, план) ресурсосберегающей деятельности промышленной экосистемы, следование которому в долгосрочной перспективе должно привести к достижению

целей ресурсосбережения и получению ожидаемого экономического, экологического, социального эффектов [18, 21–23]. Инструменты реализации стратегии ресурсоэффективности на мезо- и микроуровнях представлены в табл. 1. Стратегия по направлениям действий и конкретным мероприятиям должна быть согласована с национальными целями и учитывать региональные и отраслевые аспекты, а также стратегические ориентиры промышленных акторов.

Таблица 1

Стратегия ресурсоэффективности промышленных экосистем
(составлено автором на основе [24–26])

Мезоуровень	Микроуровень
Использование вторичных ресурсов в производственных процессах	Технологические процессы: инновации, модернизация, реконструкция
Стратегия вовлечения ресурсов во вторичный оборот	Отказ от устаревших технологий. Своевременное обновление основных фондов, в том числе за счет внедрения наилучших доступных технологий
Кроссотраслевая коллаборация промышленных субъектов в рамках макрорегионов. Выстраивание региональных цепочек добавленной стоимости. Формирование экспертного сообщества	Интеграция промышленных предприятий и компаний в промышленные симбиозы, экосистемы, кластеры, экоиндустриальные парки и т.д. Формирование симбиотических связей. Создание единой цифровой платформы для эффективного взаимодействия всех заинтересованных участников

Преимуществами объединения предприятий в промышленные экосистемы являются возможность обмена вторичными ресурсами, снижение производственных расходов за счет повышения показателей ресурсной эффективности и уменьшения величины материалоемкости, сокращение издержек на размещение и очистку промышленных отходов, обмен знаниями и инновационными технологиями.

Результаты

Предложенный методический подход по определению эффекта декаплинга апробирован на примере промышленной экосистемы «Зеленый цемент», состоящей из сети промышленных симбиозов.

В качестве интегратора (пейсмейкера) промышленной экосистемы «Зеленый цемент» выступает технология по переработке шлака «Бисквит» (рис. 4) и цифровые сервисы (платформа «AKKERMANN Бетон») компании Akkermann, специально адаптированные для России совместно с компанией Concrete Quality, SLU. Основная цель платформы – способствовать утилизации отходов и побочных продуктов, используя модели экономики замкнутого цикла. Эта цифровая площадка предназначена для сотрудничества поставщиков и пользователей переработанных материалов.

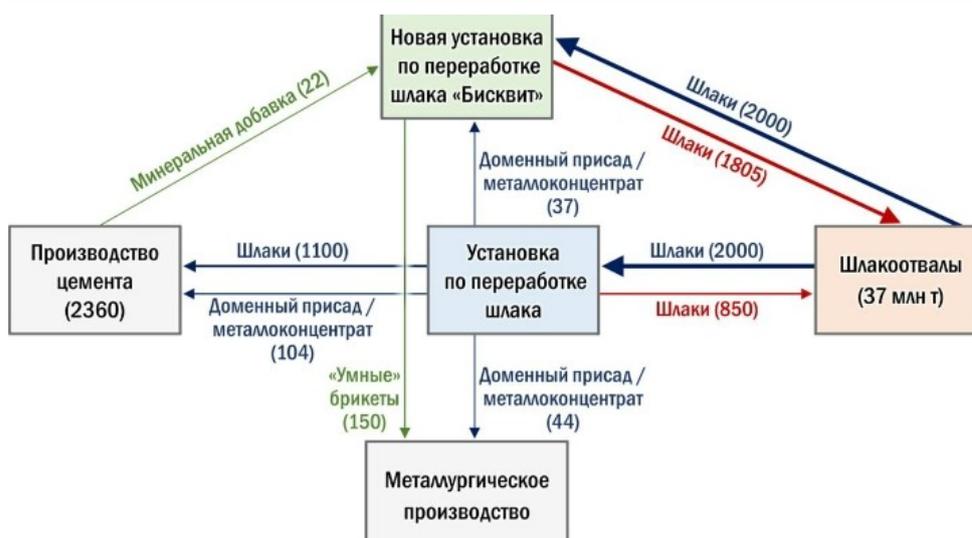


Рис. 4. Технология переработки шлака в промышленной экосистеме «Зеленый цемент» [19]

Бизнес-проект «Бисквит» состоит из четырех инвестиционных проектов – «ШПУ-NEW» и «Линия брикетирования», «ШПУ-NOVA» и «ШПУ-NEO». Проектная мощность по переработке шлака составляет 300 т/ч.

Фактически производство цемента дает возможность использовать в качестве вторичных ресурсов отходы других отраслей промышленности, тем самым значительно удешевляя производство и сокращая воздействие производственной деятельности на окружающую среду.

Основными промышленными акторами экосистемы «Зеленый цемент», которые взаимодействуют на основе симбиотических связей, являются:

- АО «Уральская сталь», г. Новотроицк;
- ООО «АККЕРМАНН ЦЕМЕНТ», г. Новотроицк (до 2020 г. ООО «Южно-уральская Горно-перерабатывающая компания»). Годовой объем производства – 2,3 млн т;
- АККЕРМАНН METAL – производство металлосодержащей продукции, шлакового щебня и вторичных огнеупоров в г. Новотроицке;
- ООО «ГОРНОЗАВОДСКЦЕМЕНТ» (г. Горнозаводск). Годовой объем производства – 2 млн т;
- АККЕРМАНН LIME – производство известняковой муки и минерального порошка в г. Горнозаводске;
- Лаборатория бетонов #PRO_BETON;
- 11 современных цементных терминалов, расположенных в ПФО и УФО.

Актор «АККЕРМАНН ЦЕМЕНТ» перерабатывает суммарно 6 млн т шлаков – все шлаки, поступающие от АО «Уральская сталь», и 5 млн т шлаков, накопленных в прошлые годы. В цементном производстве используется до 1 млн т переработанного шлака; 0,4 млн т металлоконцентрата возвращается, 4,6 млн т шлакового щебня направляется на открытый склад, откуда отгружается потребителям [19, 20].

В табл. 2 представлены данные для определения эффекта декаплинга промышленной экосистемы «Зеленый цемент», а именно промышленного симбиоза, расположенного в г. Новотроицке.

Таблица 2

Показатели ресурсоэффективности до и после вхождения предприятий в состав промышленной экосистемы

Показатели	Промышленные предприятия	Промышленная экосистема	Экономия, млн руб.
Расход тепловой энергии, млн ГДж	8,97	5,7	962,97
Использование шлака, млн т	0	1	–
Расход первичных ресурсов (известняк, глина, гипс), млн т	3,78	2,2	682,56
Производство цемента, млн т	2,36	2,36	–
Выбросы CO ₂ -экв	1,6	0,75	850
Итого:	–	–	2495,53
Прирост прибыли, млн руб.	2654,82		

В промышленной экосистеме потребление известняка и выбросы CO₂-экв сокращены практически в 2 раза по сравнению с типовым производством, а энергоемкость почти в 1,5 раза ниже, чем на отдельных промышленных предприятиях, не использующих вторичные ресурсы в качестве добавок к сырью. Индекс декаплинга в экосистеме «Зеленый цемент» составил $D_I = 0,94$, что означает наличие эффекта «абсолютного» декаплинга.

Выводы

В статье обоснована актуальность интеграции промышленных предприятий в промышленные симбиозы и экосистемы для повышения ресурсной эффективности за счет комплексного использования отходов основного производства и первичных ресурсов. Решение данной задачи требует создания производств не на основе традиционной линейной модели, а через формирование циклических моделей, когда отходы одного производства являются сырьем другого и происходит обмен знаниями и технологиями, что повышает экономическую целесообразность создания замкнутых цепочек производства через повышение ресурсного потенциала и снижения нагрузки на окружающую среду.

Продemonстрированная в статье авторская методика состоит из подходов, которые могут быть использованы как отдельно для экспресс-анализа, так и в качестве комплексного инструментария ресурсной эффективности промышленных предприятий и экосистем.

Кроме того, предложенная методика позволяет оценивать темпы роста выпуска продукции над использованием ресурсов и связанное с ним воздействие на окружающую среду (декаплинг) при анализе функционирования промышленных экосистем.

Список литературы

1. Moore J. F. The death of competition: Leadership and strategy in the age of business ecosystems. New York : Harper Collins, 1997.

2. Frosch R. A., Gallopoulos N. E. Strategies for manufacturing // *Scientific American*. 1989. Vol. 261, № 3. P. 144–153.
3. Korhonen J. Industrial ecosystem: using the material and energy flow model of an ecosystem in an industrial system. University of Jyväskylä, 2000.
4. Клейнер Г. Б. Промышленные экосистемы: взгляд в будущее // *Экономическое возрождение России*. 2018. № 2. С. 53–62.
5. Wareham J., Fox P. B., Cano Giner J. L. Technology ecosystem governance // *Organization science*. 2014. Vol. 25, № 4. P. 1195–1215.
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. Проскурнин С. Д. Создание самоорганизующейся инновационной экосистемы в зонах особого территориального развития // *Региональная экономика и управление*. 2017. № 4.
8. Шишелов М. А. Оценка ресурсной эффективности использования древесины северного региона: методология и практика (на примере Республики Коми) // *Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета*. 2019. № 2. С. 30–37. doi:10.34130/2070-4992-2019-2-30-37
9. Boyett J. H., Boyett J. T. *Management Guide: Die TopIdeen der Management Gurus*. München : Econ, 1999. 399 S.
10. Tolstykh T., Shmeleva N., Gamidullaeva L. Evaluation of Circular and Integration Potentials of Innovation Ecosystems for Industrial Sustainability // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. P. 4574. doi:10.3390/su12114574
11. Портер М., Креймер М. Капитализм для всех // *Harvard Business Review*. 2011. С. 39.
12. Tolstykh T., Shmeleva N., Gamidullaeva L., Shmatko A. An Assessment Approach to Circular Business Models within an Industrial Ecosystem for Sustainable Territorial Development // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. P. 704. doi:10.3390/su14020704
13. Преображенский Б. Г., Толстых Т. О., Шмелева Н. В. Промышленный симбиоз как инструмент циркулярной экономики // *Регион: системы, экономика, управление*. 2020. № 4. С. 37–48
14. Гамидуллаева Л. А., Толстых Т. О., Шмелева Н. В. Методика комплексной оценки потенциала промышленной экосистемы в контексте устойчивого развития региона // *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. 2020. № 2. С. 29–48. doi:10.21685/2227-8486-2020-2-3
15. Скобелев Д. О. Политика повышения ресурсной эффективности для обеспечения устойчивого развития российской промышленности : дис. ... д-ра эконом. наук. Апатиты, 2022.
16. Скобелев Д. О. Возвращение вторичных ресурсов в хозяйственный оборот: экономика, технология, право // *Компетентность*. 2020. № 4. С. 8–15.
17. Забелина И. А. Эффект декаплинга в эколого-экономическом развитии регионов – участников трансграничного взаимодействия // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2019. Т. 12, № 1. С. 241–255.
18. Квинт В. Л. Концепция стратегирования. Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2020. 170 с. doi:10.21603/978-5-8353-2562-7
19. Потапова Е. Н., Гусева Т. В., Тихонова И. О. [и др.]. Производство цемента: аспекты повышения ресурсоэффективности и снижения негативного воздействия на окружающую среду // *Строительные материалы*. 2020. № 9. С. 15–20.
20. Зеленые кейсы / под ред. Д. О. Скобелева. М. : Деловой экспресс, 2020. 160 с.
21. Афонин С. Е. Систематизация и анализ методов оценки влияния видов экономической деятельности на развитие научно-технического потенциала промышленных

- территориально-отраслевых комплексов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 1. С. 46–54. doi:10.21685/2227-8486-2022-1-5
22. Коркин М. А. Оценка скрытых резервов технологического потенциала промышленных предприятий при внедрении новых технологий // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 1. С. 55–62. doi:10.21685/2227-8486-2022-1-6
23. Гамидуллаева Л. А., Досжан Р. Д. Устойчивые инновации: систематический обзор литературы // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2020. № 3. С. 32–45. doi:10.21685/2227-8486-2020-3-3
24. Шепетовская В. И., Воротников А. М., Фадеева М. Л. Эффективная инновационная деятельность как залог устойчивого развития России // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 2. С. 16–35. doi:10.21685/2227-8486-2022-2-2
25. Суловицкая Г. В. Потенциал «сквозных» цифровых технологий для совершенствования систем менеджмента качества // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 3. С. 60–70.
26. Великая О. А. Цифровые технологии и инструменты как основа эффективности развития промышленности // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 2. С. 5–15. doi:10.21685/2227-8486-2022-2-1

References

1. Moore J.F. *The death of competition: Leadership and strategy in the age of business ecosystems*. New York: Harper Collins, 1997.
2. Frosch R.A., Gallopoulos N.E. Strategies for manufacturing. *Scientific American*. 1989;261(3):144–153.
3. Korhonen J. *Industrial ecosystem: using the material and energy flow model of an ecosystem in an industrial system*. University of Jyväskylä, 2000.
4. Kleyner G.B. Industrial ecosystems: a look into the future. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = The economic revival of Russia*. 2018;(2):53–62. (In Russ.)
5. Wareham J., Fox P.B., Cano Giner J.L. Technology ecosystem governance. *Organization science*. 2014;25(4):1195–1215.
6. Popov E.V., Simonova V.L., Tikhonova A.D. The structure of industrial "ecosystems" in the digital economy. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom = Management in Russia and abroad*. 2019;(4):3–11. (In Russ.)
7. Proskurnin S.D. Creation of a self-organized innovation ecosystem in zones of special territorial development. *Regional'naya ekonomika i upravlenie = Regional economics and management*. 2017;(4). (In Russ.)
8. Shishelov M.A. Assessment of resource efficiency of wood use in the northern region: methodology and practice (on the example of the Komi Republic). *Korporativnoe upravlenie i innovatsionnoe razvitie ekonomiki Severa: Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo tsentra korporativnogo prava, upravleniya i venchurnogo investirovaniya Syktyvkar'skogo gosudarstvennogo universiteta = Corporate governance and innovative development of the economy of the North: Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Investment of Syktyvkar State University*. 2019;(2):30–37. (In Russ.). doi:10.34130/2070-4992-2019-2-30-37
9. Boyett J.H., Boyett J.T. *Management Guide: Die TopIdeen der Management Gurus*. München: Econ, 1999:399.
10. Tolstykh T., Shmeleva N., Gamidullaeva L. Evaluation of Circular and Integration Potentials of Innovation Ecosystems for Industrial Sustainability. *Sustainability*. 2020;12:4574. doi:10.3390/su12114574
11. Porter M., Kreymer M. Capitalism for All. *Harvard Business Review*. 2011:39. (In Russ.)

12. Tolstykh T., Shmeleva N., Gamidullaeva L., Shmatko A. An Assessment Approach to Circular Business Models within an Industrial Ecosystem for Sustainable Territorial Development. *Sustainability*. 2022;14:704. doi:10.3390/su14020704
13. Preobrazhenskiy B.G., Tolstykh T.O., Shmeleva N.V. Industrial symbiosis as a tool of circular economy. *Region: sistemy, ekonomika, upravlenie = Region: systems, economics, management*. 2020;(4):37–48. (In Russ.)
14. Gamidullaeva L.A., Tolstykh T.O., Shmeleva N.V. Methodology of complex assessment of industrial ecosystem potential in the context of sustainable development of the region. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2020;(2):29–48. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2020-2-3
15. Skobelev D.O. Policy of increasing resource efficiency to ensure sustainable development of Russian industry. DSc dissertation. Apatity, 2022. (In Russ.)
16. Skobelev D.O. The return of secondary resources to economic turnover: economics, technology, law. *Kompetentnost' = Competence*. 2020;(4):8–15. (In Russ.)
17. Zabelina I.A. Decapling effect in the ecological and economic development of the regions participating in cross-border interaction. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz = Economic and social changes: facts, trends, forecast*. 2019;12(1):241–255. (In Russ.)
18. Kvint V.L. *Kontseptsiya strategirovaniya = The concept of strategizing*. Kemerovo: Kemerovskiy gosudarstvennyy universitet, 2020:170. (In Russ.). doi:10.21603/978-5-8353-2562-7
19. Potapova E.N., Guseva T.V., Tikhonova I.O. et al. Cement production: aspects of increasing resource efficiency and reducing the negative impact on the environment. *Stroitel'nye materialy = Construction Materials*. 2020;(9):15–20. (In Russ.)
20. Skobelev D.O. (ed.). *Zelenye keysy = Green cases*. Moscow: Delovoy ekspres, 2020:160.
21. Afonin S.E. Systematization and analysis of methods for assessing the impact of economic activities on the development of scientific and technical potential of industrial territorial and industrial complexes. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2022;(1):46–54. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2022-1-5
22. Korkin M.A. Evaluation of hidden reserves of technological potential of industrial enterprises in the introduction of new technologies. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2022;(1):55–62. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2022-1-6
23. Gamidullaeva L.A., Doszhan R.D. Sustainable innovations: a systematic review of the literature. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2020;(3):32–45. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2020-3-3
24. Shepetovskaya V.I., Vorotnikov A.M., Fadeeva M.L. Effective innovative activity as a guarantee of sustainable development of Russia. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2022;(2):16–35. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2022-2-2
25. Surovitskaya G.V. The potential of "end-to-end" digital technologies for improving quality management systems. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(3):60–70. (In Russ.)
26. Velikaya O.A. Digital technologies and tools as a basis for the efficiency of industrial development. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2022;(2):5–15. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2022-2-1

Информация об авторах / Information about the authors

Надежда Васильевна Шмелева

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры индустриальной
стратегии,

Национальный исследовательский
технологический университет «МИСИС»

(Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 4)

E-mail: nshmeleva@misis.ru

Nadezhda V. Shmeleva

Candidate of economical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of industrial strategy,
National Research Technological University
"MISIS"

(4 Leninsky avenue, Moscow, Russia)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /
The author declares no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 20.10.2022

Поступила после рецензирования/Revised 16.11.2022

Принята к публикации/Accepted 22.12.2022