

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ПРОМЫШЛЕННО-СИМБИОТИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Е. Э. Уткина

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Москва, Россия

Поиск решений, которые ограничивают потребление ресурсов и выбросы парниковых газов, имеет важное значение для обеспечения устойчивого экономического роста. Промышленный симбиоз оказался сильным союзником в достижении экологических, экономических и социальных целей, о чем свидетельствует растущее число публикаций на эту тему. В Европе и Азии, особенно в Китае, отмечалась более высокая распространенность промышленного симбиоза, что связано с реализацией государственной политики. В производственном секторе соглашения о промышленном симбиозе заключались чаще всего вследствие не только роста количества образующихся отходов, но и благодаря возможности интегрировать отходы и побочные продукты в производственный цикл. Наиболее широко это коснулось химической, цементной, бумажной и сталелитейной промышленности, а также нефтеперерабатывающих заводов. При повторном использовании отходов других отраслей промышленности не всегда возникает только положительный эффект для компаний. Отходы часто имеют более низкое качество, чем первичные материалы, которые они заменяют. В статье показано, как фирмы могут управлять качеством отходов путем интеграции поставщиков отходов в операционные процессы компании-покупателя. Автором обосновано, что управление качеством отходов представляет собой главную возможность промышленного симбиоза, особенно когда фирмы хотят повысить эффективность своей деятельности в этой области.

Ключевые слова: промышленный симбиоз, промышленная экология, циркулярная экономика, устойчивость, экоиндустриальный парк.

ANALYZING AND CLASSIFYING WAYS OF ASSESSING INDUSTRIAL-SYMBIOTIC INTERACTIONS

Ekaterina E. Utkina

Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia

Searching for solutions, which restrict consumption of resources and exhausts of green-house gases, is essential for providing stable economic growth. Industrial symbiosis turned to be a strong ally in reaching ecological, economic and social goals, which is proved by a rising number of publications on the subject. A higher proliferation of industrial symbiosis was observed in Europe and Asia, especially in China, which is connected with state policy realization. In manufacturing sector contracts of industrial symbiosis were signed not only because of the increasing amount of waste, but due to the possibility to integrate waste and by-products in production cycle. It affected mainly chemical, cement, pulp and paper and steel-making industry and oil-refining plants. In case wastes of other industries are used, not only positive effect for the company is feasible. Wastes are often of lower quality than initial materials, which they substitute for. The article shows how companies can control the waste quality by integrating waste suppliers in operative processes of the company - buyer. The author substantiated that control of the waste quality is the key possibility for industrial symbiosis, especially when companies would like to raise the efficiency of their work in the field.

Keywords: industrial symbiosis, industrial ecology, circular economy, stability, eco-industrial park.

Введение

Индустриализация привела не только к повышению уровня жизни, но и к росту неблагоприятных воздействий на окружающую среду из-за неустойчивых моделей производства и потребления. В рамках модели циркулярной экономики с начала 2000-х гг. получили развитие межотраслевые сети с разветвленными цепями поставок, использующие такие подходы, как промышленный и городской симбиоз.

Промышленный симбиоз (ПС) представляет собой область исследований промышленной экологии, ориентированную на создание сети знаний о новых произведенных или перспективных вариантах обмена ресурсами в процессе взаимодействия между компаниями с целью развития промышленных экосистем. Новые обмены описываются в литературе как поиск источников необходимых ресурсов, получение не связанных с основным продуктом выгод, в процессе которого устанавливаются деловые партнерства, происходят совершенствование технических процессов и культурные преобразования в сторону повышения экологичности [25].

Распространение преимуществ и выгод, полученных в результате промышленно-симбиотических взаимодействий организаций, может способствовать развитию этой практики не только среди компаний, но и на государственном уровне, стимулируя создание и развитие синергизма. Промышленный симбиоз признан одной из наиболее многообещающих стратегий на пути к циркулярной экономике и устойчивому развитию. Таким образом, и компании, и государство в значительной степени заинтересованы в том, чтобы определить надлежащие пути внедрения ПС на практике и меры его поддержки.

Методология исследования

Для исследования различных публикаций на тему промышленного симбиоза использовались международные базы данных (Scopus, Wiley Online Library, Springer, ScienceDirect, ResearchGate) начиная с

1971 г., а также база eLibrary для анализа публикаций на русском языке.

Ключевой фразой для поиска была выбрана «промышленный симбиоз», а также соответственно *industrial symbiosis*. Далее был проведен отбор публикаций, содержащих требуемую фразу в названии, аннотации и ключевых словах, после чего проанализирована содержательная часть каждой отдельной публикации на предмет раскрытия темы промышленного симбиоза. При этом были исключены статьи, в которых промышленный симбиоз упоминался только в качестве примера, для контекстуализации другой концепции или для разграничения концепций. В общей сложности было отобрано 752 статьи. Следует отметить, что при анализе базы данных eLibrary было выявлено минимальное число публикаций по теме промышленного симбиоза, при этом первая публикация датирована 2010 г. В настоящее время число публикаций также остается на низком уровне (рис. 1).

На основе анализа статей из международных баз данных на тему промышленного симбиоза была выявлена тенденция прогрессирующего роста количества публикаций с 1971 г. (рис. 2), начиная с появления успешного примера промышленного симбиоза в городе Калуннборг, являющегося важным катализатором интереса к данной теме. Многочисленные исследования, публикуемые первоначально в подавляющем большинстве людьми, причастными к работе внутри системы промышленного симбиоза Калуннборга, продемонстрировали экономические, экологические и социальные выгоды для компаний и окружающего сообщества. Разработка европейских, национальных и региональных программ и стратегий, которые поощряют практику промышленного симбиоза, несомненно, также повлияла на рост числа публикаций [4].

Следует отметить, что значение 2020 г. относится к первым пяти месяцам, однако с учетом большого количества уже проведенных публикаций вполне вероятно, что

к концу года количество статей превысит значение предыдущего года.

Наибольшее количество опубликованных тематических исследований, посвященных промышленному симбиозу, приходится на Азию. В Китае разработано и реализовано на практике 36 промышленно-симбиотических сетей взаимодействия, что является самым высоким общемировым показателем. Следствием быстрого экономического роста стало возросшее потребление энергии и ресурсов ря-

дом отраслей промышленности и в связи с этим рост количества выбросов парниковых газов, показатели которых значительно превысили установленные международным сообществом нормы [27], в результате чего Китаю необходимо было принять меры для противодействия данному процессу. Можно сделать заключение, что такое количество реализованных проектов сетей промышленного симбиоза в значительной степени оправдано политикой, осуществляемой страной.

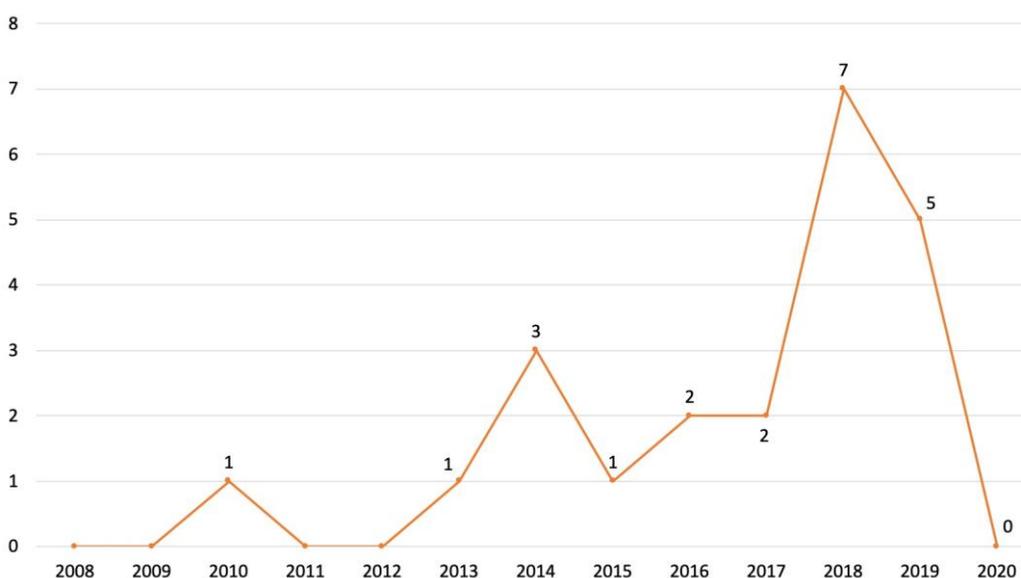


Рис. 1. Число публикаций в год на тему промышленного симбиоза (eLibrary)

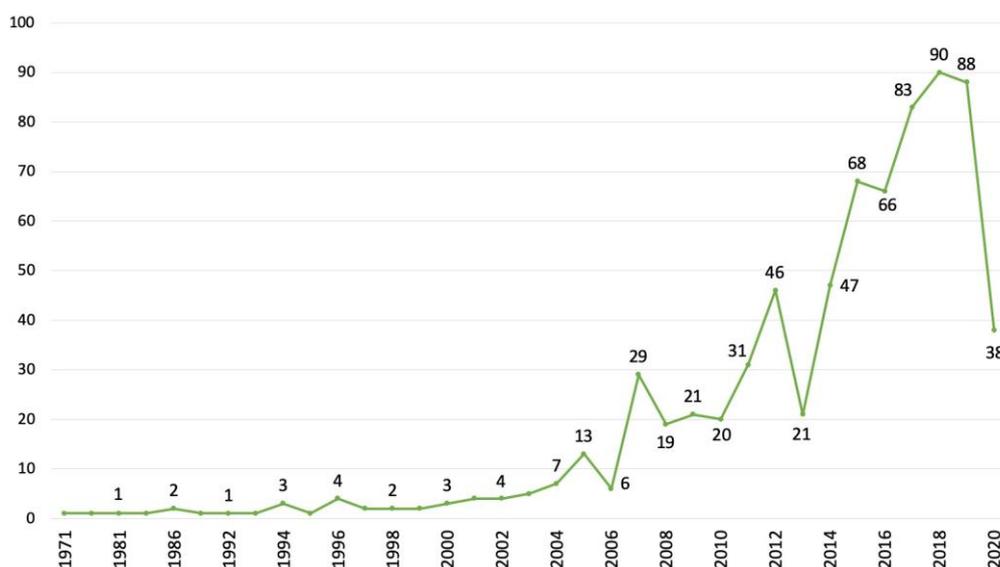


Рис. 2. Число публикаций в год на тему промышленного симбиоза в международных базах данных

Китай предпринял усилия по сокращению выбросов парниковых газов, осуществив ряд стратегий и программ, включающих новые направления исследований и политику дополнительного финансирования. И хотя в разработанных планах промышленный симбиоз не являлся основной целью, введение различных мер в рамках циркулярной экономики и развития экоиндустриальных парков способствовало развитию промышленного симбиоза и сдерживало негативные последствия быстрой индустриализации и урбанизации.

В большинстве случаев для возникновения промышленных симбиотических отношений, и особенно построения успешного промышленного симбиоза, наличие направленной государственной политики не является существенным, и ПС возникает по инициативе компании. Промышленный симбиоз датского Калуннборга возник самостоятельно в 1960-х гг. и объединял четыре основные отрасли промышленности и компании за пределами промышленной зоны [46]. Со временем промышленный симбиоз развивался не только реактивно в результате нехватки ресурсов. Он преследовал также экономические и экологические выгоды, получаемые компаниями, участвующими в синергии.

Некоторые страны юга Европы, такие как Португалия и Испания, хотя и не имеют большого числа зарегистрированных случаев промышленного симбиоза, предприняли усилия по применению более устойчивых методов производства и принятию программ стимулирования промышленного симбиоза [12].

В России подобная производственная модель, известная как комплексное использование минерального сырья (отходов), была запланирована в середине 1980-х гг. Она объединяла потоки отходов горнодобывающей промышленности на Кольском полуострове таким образом, что отходы одного промышленного оператора должны становиться сырьем для другого. Концепция обещала повышение уровня благосостояния и уменьшение загрязне-

ния, производимого горнодобывающей промышленностью региона. В результате распада Советского Союза концепция комплексного использования отходов никогда не осуществлялась в полном объеме. Другие подобные эксперименты с комплексным использованием были выявлены в Восточной Европе, но они также закончились с падением социалистического режима [14].

Промышленный симбиоз также может сыграть заметную роль в экологизации существующих промышленных сетей в рамках осуществления современных арктических мегапроектов за счет обмена сырьем и энергией и, соответственно, сокращения затрат на их получение, а также комплексного снижения воздействия предприятий на окружающую среду, что особенно актуально ввиду хрупкости арктических экосистем и уязвимости природного баланса.

Очевидно, что бывшие социалистические страны являются богатым источником для анализа критических случаев ПС. В научных публикациях, посвященных теме промышленного симбиоза, в основном упоминаются истории успеха, тогда как уроки, которые можно извлечь из неудачных случаев, одинаково важны. Понимание того, были ли внешние ограничения, такие как экономическое положение региона или страны, в которой развивается промышленный симбиоз, произошел ли сбой внутри самой сети, а также каковы причины этого сбоя, может быть ценным источником информации для нахождения способов предотвращения подобных ситуаций при проектировании симбиотических сетей.

Для России и стран бывшего СССР необходимо исследовать, существовали ли попытки или потенциальные разработки промышленного симбиоза, и оценить потенциал для образования новых синергий с точки зрения существующих отраслей, законодательства и других ограничений, а также изучить лучшие способы распространения модели промышленного симбиоза в России.

Способы оценки промышленно-симбиотических взаимодействий

В научной литературе подчеркивается, что одним из основных пробелов в создании, разработке и внедрении модели ПС является отсутствие надлежащей системы показателей для измерения этого явления. Во многих исследованиях, посвященных оценке промышленного симбиоза, было предложено множество различных показателей и способов оценки, однако всеобъемлющей, универсальной и при этом действенной системы, способной анализировать все виды деятельности промышленного симбиоза, пока не существует. Наблюдается заметный контраст в методах количественного анализа данных, используемых в различных системах промышленного симбиоза.

В рамках экологического измерения устойчивости для количественной оценки воздействия на окружающую среду использовались следующие методы:

1. Оценка жизненного цикла (ОЖЦ), которая позволяет количественно оценить потенциальное воздействие используемых при производстве, эксплуатации и утилизации изделий ресурсов на окружающую среду в течение жизненного цикла [7; 26]. Экологические преимущества промышленного симбиоза оцениваются в сравнении с эталонными сценариями.

2. Анализ материальных потоков [3; 15] и эксергетический анализ (метод термодинамического анализа систем, рассматриваемых во взаимодействии с окружающей средой) [41; 42].

3. Количественная оценка выбросов парниковых газов. Она проводилась в большинстве исследований в Китае, где эта проблема очень актуальна, учитывая большой объем выбросов [2; 11; 20; 24; 40; 44]. Для учета выбросов углерода использовались методы, основанные на Руководящих принципах МГЭИК 2006 г. для оценки и учета выбросов парниковых газов и представления отчетности [44]. Гибридная модель, интегрирующая подход на основе затрат и результатов и анализ

запасов на основе процессного подхода, использовалась для анализа углеродного следа в Гуйяне (Китай) [11]. В Кавасаки (Япония) сокращение выбросов углекислого газа оценивалось путем расчета годовых выбросов CO_2 , величина которых зависит от различных параметров, таких как выбросы CO_2 при транспортировке сырья, промышленных и муниципальных отходов, подлежащих переработке и утилизации, выбросы CO_2 от производства цемента и выбросы CO_2 в результате образования отходов [16].

4. Система показателей для оценки воздействия промышленного симбиоза, например, снижение потребления ресурсов и сокращение выбросов, экологические выгоды, определяемые как выбросы, которые компания может сократить при условии организации промышленного симбиоза [9]; а также показатели, включающие количественную оценку потребления энергии, потребления эксергии (неотрывное от окружающей среды понятие, зависящее от состояния системы и окружающей среды) [41; 42].

Экономические эффекты промышленного симбиоза оцениваются с использованием таких показателей, как экономия затрат на закупку сырья и утилизацию отходов, доход от реализации отходов [15], сочетание нескольких параметров (сокращение прямых расходов, реальных инвестиций и предполагаемых сроков окупаемости) [20], а также путем расчета валовой выгоды и динамического периода окупаемости инвестиций [2]. Также учитывается показатель экономической выгоды, выражаемый в доходах или расходах, которые избегает компания из-за сокращения поставок сырья, количества образуемых отходов или их использования в процессе производства [9].

Для количественного определения воздействия промышленного симбиоза наиболее часто предлагалась оценка жизненного цикла, где в первую очередь проводился анализ окружающей среды, за которым следовал экономический анализ.

Преобладание оценки воздействия на окружающую среду может быть объяснено растущей обеспокоенностью по поводу изменения климата, строгой необходимости сокращения выбросов парниковых газов, сохранения природных ресурсов и все более повсеместного внедрения экологической политики. Интерес к оценке экономических последствий связан с тем фактом, что компании часто стремятся к созданию синергизма из-за экономических выгод, которые становится возможным извлечь.

В сравнении с экологическими и экономическими показателями социальные показатели определяются с некоторой долей субъективности и сложности [18; 19; 22]. Так как социальное измерение является наиболее трудным для количественной оценки, в исследованиях, посвященных промышленному симбиозу, комплексное измерение устойчивости не анализируется.

Еще одна проблема, с которой можно столкнуться при определении социального воздействия промышленного симбиоза, заключается в том, чтобы отделить эффекты конкретно от промышленного симбиоза от других принятых мер и количественно определить увеличение социальной выгоды. Социальный компонент может быть важен для развития промышленного симбиоза, поскольку, зная о преимуществах этого синергизма, окружающее сообщество и региональные правительства могут стать активными участниками развития концепции промышленного симбиоза в регионе. Например, такие показатели, как качество жизни, выраженное в улучшении социальных и экономических условий, увеличении расходов на здравоохранение, повышении уровня занятости и дохода, транспортной доступности, могут быть использованы для оценки воздействия промышленного симбиоза на окружающие сообщества. Исследования должны включать способы их измерения, а также оценку факторов, наиболее ценных для местного населения.

Сети промышленного симбиоза

Компании, участвующие в симбиозе, должны сформировать прочное сетевое взаимодействие и надежные каналы поставок, поскольку деятельность компаний-получателей отходов частично зависит от потоков компаний-поставщиков. При сбоях в поставках может быть поставлена под угрозу работа компании или всей сети промышленного симбиоза [39]. С другой стороны, ключевые участники должны понимать сетевую структуру промышленного симбиоза и то, как происходит взаимодействие между различными операторами, поскольку это влияет на результаты синергизма. Таким образом, характеризуя сеть и ее внутренние взаимодействия, необходимо оптимизировать деятельность компаний, с тем чтобы улучшить экономические и экологические показатели всей сети.

Для анализа сетей промышленного симбиоза используется также адаптированный для анализа больших данных метод анализа социальных сетей [36; 37; 38], посредством которого определяются несколько взаимосвязанных экономических и математических показателей, таких как плотность, степень централизованности, распределение сетей по числу связей (число сетей, имеющих определенное количество связей), степень посредничества, центральность по близости, паракompактность и область связности.

Поведение сети при наличии некоторых возмущений исследуется для анализа устойчивости и надежности сети в ходе разрушительных сценариев и каскадного эффекта, который они могут спровоцировать. Уязвимость сети промышленного симбиоза оценивается на основе теории автоматического управления, метода математического анализа [39] и ряда индикаторов, а именно уязвимости сети промышленного симбиоза и узловой связи [23]. Однако уязвимость сети промышленного симбиоза также может зависеть и от экономических колебаний.

Стимулы и результаты реализации моделей промышленного симбиоза для компаний

Экономические мотивы являются наиболее частыми в инициативах компаний по созданию отношений промышленного симбиоза. Причинами, по которым компании стремятся к достижению отношений симбиоза, являются экономическая выгода, повышение конкурентоспособности, возможность избежать налоговых затрат или необходимость обработки и удаления отходов. Экологические и социальные причины чаще всего определяются действиями правительства по продвижению промышленного симбиоза. Сокращение отходов, выбросов парниковых газов и создание новых рабочих мест выступают одними из причин, по которым правительства разрабатывают меры поощрения развития синергизма и увеличения налоговой нагрузки на компании, которые не внедряют меры по обеспечению устойчивости с целью предотвращения с их стороны вывоза отходов на полигоны и мусоросжигательные заводы.

Создавая новый симбиоз, участники должны развивать доверительные отношения, чтобы обеспечить достаточное количество и качество поставок отходов и ресурсов для работы компаний-получателей. Часто этому способствует географическая близость компаний, как это произошло в Калуннборге. Сложность для компаний существенно возрастает, когда симбиоз основан на совместном использовании коммунальных услуг, таких как вода и электроэнергия. Риск изменчивости поставок в этих случаях выше, что в большей степени влияет на функционирование компаний, поэтому неудивительно, что на практике промышленный симбиоз на основе распределения отходов происходит чаще, чем совместное использование коммунальных услуг. Кроме того, ошибка в способе построения симбиотической сети может привести к возникновению сложностей для компаний в случае сбоя в поставках. И это влияние тем сильнее, чем больше развит синергизм и больше связей между ограни-

ченным числом компаний, как в случае с Калуннборгом. В этом случае внедрение новой связи в существующий симбиоз может снизить уязвимость всей сети за счет распределения рисков и стать отличной возможностью для увеличения экономических выгод. Например, в ходе изучения эволюции сети промышленного симбиоза в Калуннборге был сделан вывод, что объединения между различными отраслями с аналогичными типами обменов позволили снизить уязвимость сети, поскольку при удалении какого-либо узла сеть была способна адаптироваться, так как были альтернативы этой синергии [5].

Управление качеством отходов в промышленном симбиозе

После первого заключения симбиотического сотрудничества и начала успешной деятельности участники часто стремятся расширить границы сети промышленного симбиоза. Однако для поддержания высокого качества конечного продукта и высокой эффективности работы в производственной среде, которая спроектирована и оптимизирована для использования первичных материалов, отходы должны соответствовать строгим стандартам качества. Чтобы управлять разным качеством отходов, производитель (компания – получатель отходов) должен взаимодействовать с сетью компаний-поставщиков для приведения качества отходов в соответствие с требованиями производства.

Тем не менее данный подход не всегда реализуем ввиду того, что у компаний – поставщиков отходов часто нет понимания того, как согласовать качество отходов с требованиями производства, хотя научная литература, посвященная анализу производственно-сбытовой цепи, подчеркивает положительную корреляцию между эффективностью производственных процессов обоих участников и интеграцией компании – поставщика ресурсов и компании-получателя по вопросам установления требуемого порога качества получаемых ресурсов и их оценки. Так, эффективность компании-получателя возрастает благодаря

повышению качества получаемых ресурсов, в результате чего происходит сокращение потока неликвидных ресурсов [17].

Критерии определения качества отходов и разработка подходящих стимулов осложняются разными отраслями промышленности, к которым одновременно могут принадлежать участники сети промышленного симбиоза [43]. Описания прецедентов промышленного симбиоза показывают, что он часто имеет место в перерабатывающей промышленности. Так, например, база данных MEASTRI Exchanges [10], описывающая симбиотические обмены по всему миру, показывает, что 71% покупателей отходов и 75% поставщиков отходов являются представителями перерабатывающих отраслей промышленности [31].

Перерабатывающая промышленность характеризуется высокой внутренней производственной сложностью, которая определяется как уровень детализации и динамическая сложность продуктов, систем обработки, планирования и управления производственным предприятием [1].

В контексте промышленного симбиоза высокая внутренняя сложность производства может привести к сложной взаимосвязи между качеством отходов и эксплуатационными параметрами, а следовательно, может создать неоднозначность того, что влечет за собой качество отходов [30]. Приведение свойств отходов и побочных продуктов в соответствие с производственными требованиями компании-получателя может потребовать от поставщика таких усилий, как разделение отходов на фракции и смешивание с другими материалами.

С целью оптимизации стратегий поставок с учетом различных внешних факторов в отношении зеленых цепей поставок система интеграции поставщиков (СИ) стремится обеспечить эффективные и действенные потоки продуктов и ресурсов, данных, услуг и решений [13; 33]. Существует позитивная связь между СИ и эффективностью поставщика. СИ особенно эффективна, когда поддерживается внутренней интеграцией [47].

Передача сложной информации, необходимой для управления отходами в контексте промышленного симбиоза, в рамках интеграции поставщиков требует более быстрых интерактивных подходов вместо пассивных. Однако использование интерактивных подходов СИ, поддерживаемых внутренней интеграцией, но с недостаточной осведомленностью о процессах и продуктах покупателя, может не дать поставщикам привести качество отходов в соответствие с производственными требованиями покупателя.

Потенциал освоения (поглотительная способность) – это способность распознавать ценность новой, внешней информации, усваивать ее и применять для коммерческих целей [6]. Он показывает, как СИ позволяет компаниям управлять качеством отходов. Следовательно, потенциал освоения отражает возможность передачи данных для управления качеством отходов.

Поглотительную способность можно разделить на две части: 1) потенциальная поглотительная способность создает новые данные в системе путем получения и усвоения существующих; 2) реализованная поглотительная способность использует потенциальную для преобразования и использования информацию.

В таблице приведены аспекты потенциальной и реализованной поглотительной способности поставщика в отношении СИ, направленной на управление качеством отходов. Поглотительная способность может отличаться в зависимости от компании, с которой она сотрудничает: в случаях, когда СИ имеет место между покупателем и поставщиком отходов с перекрывающимися базами данных (т. е. функционирующих в одной или схожих отраслях промышленности и выполняющих известные обоим участникам производственные процессы), она будет более эффективной [28]. Одних только СИ может быть недостаточно для согласования качества отходов с требованиями производства. Другие условия также могут влиять на СИ, такие как дисбаланс мощностей и глубина интеграции [32].

Аспекты поглотительной способности поставщиков в отношении управления качеством отходов через СИ

Направление	Составляющие [45]	Отношение к управлению качеством отходов через систему интеграции [35]
Потенциальная поглотительная способность	Получение	Способность поставщика определять и собирать соответствующие данные через систему интеграции для управления качеством отходов
	Усваивание	Способность поставщика усваивать и понимать приобретенные данные, необходимые для управления качеством отходов
Реализованная поглотительная способность	Преобразование	Способность поставщика объединять имеющиеся и вновь созданные данные для выявления возможностей лучшего управления качеством отходов
	Использование	Способность поставщика использовать существующие компетенции и создавать новые для управления качеством отходов

Оптимизация симбиотических процессов работы и производственно-сбытовой цепи позволяет фирмам расширить сферу и масштабы промышленного симбиоза. Кроме того, результаты, связанные с концепцией поглотительной способности, полезны практически для всех практик СИ, что выходит за рамки промышленного симбиоза.

Рекомендации в отношении поддержки развития промышленного симбиоза в северных регионах

На основе проведенного анализа можно дать некоторые нормативные рекомендации относительно промышленного симбиоза как ключевого фактора зеленого экономического роста:

1. Чтобы использовать весь динамический и региональный потенциал промышленного симбиоза, существует потребность в долгосрочной структуре государственной поддержки циркулярной экономики и промышленного симбиоза, включая всеобъемлющие и последовательные стратегии и задачи.

2. Компании, работающие в области развития промышленных симбиозов, региональные кластеры или подобные организации могут играть важную роль в содействии и продвижении промышленного симбиоза в северных регионах. Они могут поддерживать деятельность по промышленному симбиозу, помогая компаниям

находить соответствующих партнеров для сотрудничества и новых синергетических возможностей, а также разрабатывать бизнес-планы.

3. Местные и региональные органы власти должны содействовать развитию промышленного симбиоза, например, способствуя развитию сетей (кластеров) на основе местных и региональных преимуществ и помогая выявить потенциальные варианты симбиотических обменов.

4. Развитие промышленного симбиоза должно основываться на потребностях частного сектора и фактическом спросе на ресурсы, предназначенные для обмена, в соответствующих отраслях. Деловые возможности должны быть движущей силой развития промышленного симбиоза, а это означает, что необходимо, чтобы компании могли добиться экономической выгоды от деятельности промышленного симбиоза. На этой базе, вероятно, появятся новые предприятия и инновации.

5. Европейские структурные и инвестиционные фонды предоставляют возможность подать заявку на проекты по промышленному симбиозу, ориентированные на эффективность использования ресурсов и инновации, и могут быть более широко использованы для поддержки деятельности по промышленному симбиозу в северных регионах.

6. Основные примеры промышленного симбиоза показывают, что как отдельные

компании, так и региональные кластеры могут играть важную роль в содействии развитию промышленного симбиоза. Примером хорошей практики, которую можно перенести в другие северные регионы, является картирование промышленных потоков побочных продуктов производства в регионе Кеми-Торнио в 2014 г. Картирование включало документирование соответствующих побочных потоков (включая их химические и физические свойства и степень использования и исследования смежных рынков, технологий и логистики). Всего было выявлено более 1,3 млн тонн в год побочных продуктов и потоков отходов. В Денмарке упреждающий подход целевой группы, предлагающей бесплатные проверки ресурсов для компаний, был значительным фактором с точки зрения привлечения интереса к промышленному симбиозу компаний.

7. Концепция промышленного симбиоза недостаточно известна в северных регионах, хотя примеры явлений, подобных промышленному симбиозу, могут иметь место (хотя часто под другими названиями). Необходимы дальнейшие разъяснения и повышение осведомленности о концепции промышленного симбиоза в Скандинавских странах. В этом отношении крайне важно преодолеть барьеры, связанные с информацией. Таким образом, распространение знаний о возможностях развития промышленного симбиоза чрезвычайно важно.

8. Несмотря на предпринятую попытку выделить некоторые успешные инициативы промышленного симбиоза в северных регионах, им еще предстоит пройти долгий путь. Особенно важным в этом направлении является составление карты текущей локализации и активности сетей промышленного симбиоза. Ключевая задача состоит в том, чтобы получить представление о том, что на самом деле происходит в Скандинавских странах, а также провести дополнительную оценку видов поддержки, в которой нуждается частный сектор, и передать знания об успешно реализованных со-

трудничествах между различными предприятиями в концепции промышленного симбиоза, с тем чтобы увеличить общее число подобных союзов.

Заключение

На сегодняшний день предложено множество различных индикаторов промышленного симбиоза, в то время как четкая карта доступных инструментов все еще отсутствует [8]. Слишком много показателей без критического анализа и классификации создают путаницу, что в свою очередь ограничивает их распространение и реализацию на практике. В проанализированных тематических исследованиях прослеживается очевидный дисбаланс, так как воздействие на окружающую среду из всех аспектов устойчивого развития было наиболее часто анализируемым и количественно выраженным, за ним следовали экономические и социальные показатели. Чтобы преодолеть эту проблему, требуется проведение таксономического исследования, которое может помочь лицам, принимающим решения (как в компаниях, так и в политических учреждениях), выбрать правильные показатели для принятия управленческих решений.

Прежде всего необходимо разработать показатели, измеряющие социальные выгоды от ПС, а также индикаторы, которые позволят количественно оценить воздействие трех аспектов устойчивости: экологической, экономической и социальной. Некоторые исследования охватывают эти три измерения, однако они не нацелены на промышленный симбиоз. Кроме того, охват экологических, экономических и социальных компонентов повлек за собой некоторые проблемы, такие как интеграция качественных и количественных показателей в одну и ту же систему оценки [34], возможность одновременного рассмотрения нескольких целевых функций при оптимизации исследования, а также сложности интеграции социального компонента с другими измерениями, поскольку он больше связан с практикой организации, а не с единичными процессами [29].

Большое внимание также следует уделять разработке показателей на уровне фирм и окружающей среды. Разработка индикаторов на уровне фирм, способных количественно оценить преимущества ПС для компании, имеет основополагающее значение для их мотивации к внедрению ПС на практике. Индикаторы на уровне окружающей среды помогут оценить глобальное воздействие ПС. Кроме того, должны быть разработаны индикаторы с учетом возрастающей важности ПС в го-

родских и сельских районах [21]. Инструменты, основанные на комбинации различных методологий, позволят дать четкую оценку ПС с нескольких точек зрения.

Таким образом, определение конкретных показателей для промышленного симбиоза позволит количественно оценить его общее воздействие на компании, окружающую среду и общество и сравнивать ПС в различных реальностях, т. е. разные характеристики сети с учетом особенностей региона, в котором она развивается.

Список литературы

1. *Bozarth C. C., Warsing D. P., Flynn B. B., Flynn E. J.* The Impact of Supply Chain Complexity on Manufacturing Plant Performance // *Journal of Operations Management*. – 2009. – Vol. 27. – P. 78–93.
2. *Cao X., Wen Z., Tian H., De Clercq D., Qu L.* Transforming the Cement Industry into a Key Environmental Infrastructure for Urban Ecosystem: A Case Study of an Industrial City in China // *Journal of Industrial Ecology*. – 2018. – Vol. 22. – P. 881–893.
3. *Chance E., Ashton W., Pereira J., Mulrow J., Norberto J., Derrible S., Guilbert S.* The Plant – An Experiment in Urban Food Sustainability // *Environmental Progress & Sustainable Energy*. – 2018. – Vol. 37. – P. 82–90.
4. *Chertow M., Park J.* Scholarship and Practice in Industrial Symbiosis: 1989–2014 // *Taking Stock of Industrial Ecology*. – 2016. – Ch. 5. – P. 87–116.
5. *Chopra S. S., Khanna V.* Understanding Resilience in Industrial Symbiosis Networks: Insights from Network Analysis // *Journal of Environmental Management*. – 2014. – Vol. 141. – P. 86–94.
6. *Cohen W. M., Levinthal D. A.* Absorptive Capacity: a New Perspective on Learning and Innovation // *Administrative Science Quarterly*. – 1990. – Vol. 35 (1). – P. 128–152.
7. *Daddi T., Nucci B., Iraldo F.* Using Life Cycle Assessment (LCA) to Measure the Environmental Benefits of Industrial Symbiosis in an Industrial Cluster of SMEs // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Vol. 147. – P. 157–164.
8. *Domenech T., Bleischwitz R., Doranova A., Panayotopoulos D., Roman L.* Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe – Typologies of Networks, Characteristics, Performance and Contribution to the Circular Economy // *Resources, Conservation & Recycling*. – 2019. – Vol. 141. – P. 76–98.
9. *Dong L., Zhang H., Fujita T., Ohnishi S., Li H., Fujii M., Dong H.* Environmental and Economic Gains of Industrial Symbiosis for Chinese Iron/Steel Industry: Kawasaki's 68 Experience and Practice in Liuzhou and Jinan // *Journal of Cleaner Production*. – 2013. – Vol. 59. – P. 226–238.
10. *Evans S., Beneditti M., Holdago M.* Library of Industrial Symbiosis Case Studies and Linked Exchanges (Dataset). – URL: <https://doi.org/10.17863/CAM.126082017>
11. *Fang K., Dong L., Ren J., Zhang Q., Han L., Fu H.* Carbon Footprints of Urban Transition: Tracking Circular Economy Promotions in Guiyang, China // *Ecological Modelling*. – 2013. – Vol. 365. – P. 30–44.
12. *Ferreira J., Fernandes C., Ratten V.* The Effects of Technology Transfers and Institutional Factors on Economic Growth: Evidence from Europe and Oceania // *The Journal of Technology Transfer*. – 2019. – Vol. 44. – P. 1505–1528.

13. *Feyissa T. T., Sharma R. R. K., Lay K. K.* The Impact of the Core Company's Strategy on the Dimensions of Supply Chain Integration // *The International Journal of Logistics Management.* – 2019. – Vol. 30 (3). – P. 231–260.
14. *Gille Z.* Legacy of Waste or Wasted Legacy? The End of Industrial Ecology in Post-Socialist Hungary // *Environmental Politics.* – 2000. – Vol. 9 (1). – P. 203–231.
15. *Guo B., Geng Y., Sterr T., Dong L., Liu Y.* Evaluation of Promoting Industrial Symbiosis in a Chemical Industrial Park: A Case of Midong // *Journal of Cleaner Production.* – 2016. – Vol. 135. – P. 995–1008.
16. *Hashimoto S., Fujita T., Geng Y., Nagasawa E.* Realizing CO₂ Emission Reduction through Industrial Symbiosis: A Cement Production Case Study for Kawasaki // *Resources, Conservation & Recycling.* – 2010. – Vol. 54. – P. 704–710.
17. *Huo B., Ye Y., Zhao X., Zhu K.* Supply Chain Integration: a Taxonomy Perspective // *International Journal of Production Economics.* – 2019. – Vol. 207. – P. 236–246.
18. *Hutchins M. J., Richter J. S., Henry M. L., Sutherland J. W.* Development of Indicators for the Social Dimension of Sustainability in a U. S. Business Context // *Journal of Cleaner Production.* – 2019. – Vol. 212. – P. 687–697.
19. *Ibáñez-Forés V., Bovea M. D., Coutinho-Nóbrega C., de Medeiros H. R.* Assessing the Social Performance of Municipal Solid Waste Management Systems in Developing Countries: Proposal of Indicators and a Case Study // *Ecological Indicators.* – 2019. – Vol. 98. – P. 164–178.
20. *Jacobsen N. B.* Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects // *Journal of Industrial Ecology.* – 2006. – Vol. 10. – P. 239–255.
21. *Kim H. W., Dong L., Choi A. E. S., Fujii M., Fujita T., Park H.-S.* Co-Benefit Potential of Industrial and Urban Symbiosis Using Waste Heat from Industrial Park in Ulsan, Korea // *Resources, Conservation & Recycling.* – 2018. – Vol. 135. – P. 225–234.
22. *Kühnen M., Hahn R.* Systemic Social Performance Measurement: Systematic Literature Review and Explanations on the Academic Status Quo from a Product Life-Cycle Perspective // *Journal of Cleaner Production.* – 2018. – Vol. 205. – P. 690–705.
23. *Li B., Xiang P., Hu M., Zhang C., Dong L.* The Vulnerability of Industrial Symbiosis: a Case Study of Qijiang Industrial Park, China // *Journal of Cleaner Production.* – 2017. – Vol. 157. – P. 267–277.
24. *Liu X., Bae J.* The Vulnerability of Industrial Symbiosis: a Case Study of Qijiang Industrial Park // *Journal of Cleaner Production.* – 2017. – Vol. 157. – P. 267–277.
25. *Lombardi D. R., Laybourn P.* Redefining Industrial Symbiosis // *Journal of Industrial Ecology.* – 2012. – Vol. 16. – P. 28–37.
26. *Martin M., Harris S.* Prospecting the Sustainability Implications of an Emerging Industrial Symbiosis Network // *Resources, Conservation & Recycling.* – 2018. – Vol. 138. – P. 246–256.
27. *Pao H.-T., Chen C.-C.* Decoupling Strategies: CO₂ Emissions, Energy Resources, and Economic Growth in the Group of Twenty // *Journal of Cleaner Production.* – 2019. – Vol. 206. – P. 907–919.
28. *Park H., Chung C. C.* The Role of Subsidiary Learning Behavior and Absorptive Capacity in Foreign Subsidiary Expansion // *International Business Review.* – 2019. – Vol. 28 (4). – P. 685–695.
29. *Petit G., Sablayrolles C., Bris G. Y.-L.* Combining Eco-Social and Environmental Indicators to Assess the Sustainability Performance of a Food Value Chain: a Case Study // *Journal of Cleaner Production.* – 2018. – Vol. 191. – P. 135–143.
30. *Pires A., Martinho G., Rodrigues S., Gomes M. I.* Sustainable Solid Waste Collection and Management. – Springer, 2019.

31. *Prosman E. J.* Supply Chain Capabilities for Industrial Symbiosis in the Process Industry. Lessons from the Cement Industry. – Aalborg : Aalborg University Press, 2018.
32. *Prosman E. J., Scholten K., Power D. M.* Dealing with Defaulting Suppliers Using Behavioral Based Governance Methods: an Agency Theory Perspective // *Supply Chain Management International Journal*. – 2016. – Vol. 21. – P. 499–511.
33. *Qu S. J., Zhou Y. Y., Zhang Y. L., Wahab M. I. M., Zhang G., Ye Y. Y.* Optimal Strategy for a Green Supply Chain Considering Shipping Policy and Default Risk // *Computers & Industrial Engineering*. – 2019. – Vol. 131. – P. 172–186.
34. *Schoubroeck S., Dael M., Passel S., Malina R.* A Review of Sustainability Indicators for Biobased Chemicals // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2018. – Vol. 94. – P. 115–126.
35. *Setia P., Patel P. C.* How Information Systems Help Create OM Capabilities: Consequents and Antecedents of Operational Absorptive Capacity // *Journal of Operations Management*. – 2013. – Vol. 31. – P. 409–431.
36. *Shi L., Chertow M.* Organizational Boundary Change in Industrial Symbiosis: Revisiting the Guitang Group in China // *Sustainability*. – 2017. – Vol. 9. – P. 1085.
37. *Song X., Geng Y., Dong H., Chen W.* Social Network Analysis on Industrial Symbiosis: a Case of Gujiao Eco-Industrial Park // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 193. – P. 414–423.
38. *Velenturf A. P. M.* Promoting Industrial Symbiosis: Empirical Observations of Low-Carbon Innovations in the Humber Region, UK // *Journal of Cleaner Production*. – 2016. – Vol. 128. – P. 116–130.
39. *Wang Q., Tang H., Yuan X., Zuo J., Zhang J., Gao Z., Hong J.* Investigating Vulnerability of Ecological Industrial Symbiosis Network Based on Automatic Control Theory // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2018. – Vol. 25. – P. 27321–27333.
40. *Wu J., Pu G., Guo Y., Lv J., Shang J.* Retrospective and Prospective Assessment of Exergy, Life Cycle Carbon Emissions, and Water Footprint for Coking Network Evolution in China // *Applied Energy*. – 2018. – Vol. 218. – P. 479–493.
41. *Wu J., Qi H., Wang R.* Insight into Industrial Symbiosis and Carbon Metabolism from the Evolution of Iron and Steel Industrial Network // *Journal of Cleaner Production*. – 2016. – Vol. 135. – P. 251–262.
42. *Yazan D. M., Fraccascia L., Mes M., Zijm H.* Cooperation in Manure-Based Biogas Production Networks: an Agent-Based Modeling Approach // *Applied Energy*. – 2018. – Vol. 212. – P. 820–833.
43. *Yenipazarli A.* Incentives for Environmental Research and Development: Consumer Preferences, Competitive Pressure and Emissions Taxation // *European Journal of Operational Research*. – 2019. – Vol. 276. – P. 757–769.
44. *Yu F., Han F., Cui Z.* Evolution of Industrial Symbiosis in an Eco-Industrial Park in China // *Journal of Cleaner Production*. – 2015. – Vol. 87. – P. 339–347.
45. *Zahra S. A., George G.* Absorptive Capacity: a Review, Reconceptualization, and Extension // *Academy of Management Review*. – 2002. – Vol. 27 (2). – P. 185–203.
46. *Zhang X., Chai L.* Structural Features and Evolutionary Mechanisms of Industrial Symbiosis Networks: Comparable Analyses of Two Different Cases // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 213. – P. 528–539.
47. *Zhao X., Huo B., Selen W., Yeung J. H. Y.* The Impact of Internal Integration and Relationship Commitment on External Integration // *Journal of Operations Management*. – 2011. – Vol. 29. – P. 17–32.

References

1. Bozarth C. C., Warsing D. P., Flynn B. B., Flynn E. J. The Impact of Supply Chain Complexity on Manufacturing Plant Performance. *Journal of Operations Management*, 2009, Vol. 27, pp. 78–93.
2. Cao X., Wen Z., Tian H., De Clercq D., Qu L. Transforming the Cement Industry into a Key Environmental Infrastructure for Urban Ecosystem: A Case Study of an Industrial City in China. *Journal of Industrial Ecology*, 2018, Vol. 22, pp. 881–893.
3. Chance E., Ashton W., Pereira J., Mulrow J., Norberto J., Derrible S., Guilbert S. The Plant – An Experiment in Urban Food Sustainability. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2018, Vol. 37, pp. 82–90.
4. Chertow M., Park J. Scholarship and Practice in Industrial Symbiosis: 1989–2014. *Taking Stock of Industrial Ecology*, 2016, Ch. 5, pp. 87–116.
5. Chopra S. S., Khanna V. Understanding Resilience in Industrial Symbiosis Networks: Insights from Network Analysis. *Journal of Environmental Management*, 2014, Vol. 141, pp. 86–94.
6. Cohen W. M., Levinthal D. A. Absorptive Capacity: a New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 1990, Vol. 35 (1), pp. 128–152.
7. Daddi T., Nucci B., Iraldo F. Using Life Cycle Assessment (LCA) to Measure the Environmental Benefits of Industrial Symbiosis in an Industrial Cluster of SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 2017, Vol. 147, pp. 157–164.
8. Domenech T., Bleischwitz R., Doranova A., Panayotopoulos D., Roman L. Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe – Typologies of Networks, Characteristics, Performance and Contribution to the Circular Economy. *Resources, Conservation & Recycling*, 2019, Vol. 141, pp. 76–98.
9. Dong L., Zhang H., Fujita T., Ohnishi S., Li H., Fujii M., Dong H. Environmental and Economic Gains of Industrial Symbiosis for Chinese Iron/Steel Industry: Kawasaki's 68 Experience and Practice in Liuzhou and Jinan. *Journal of Cleaner Production*, 2013, Vol. 59, pp. 226–238.
10. Evans S., Beneditti M., Holdago M. Library of Industrial Symbiosis Case Studies and Linked Exchanges (Dataset). Available at: <https://doi.org/10.17863/CAM.126082017>
11. Fang K., Dong L., Ren J., Zhang Q., Han L., Fu H. Carbon Footprints of Urban Transition: Tracking Circular Economy Promotions in Guiyang, China. *Ecological Modelling*, 2013, Vol. 365, pp. 30–44.
12. Ferreira J., Fernandes C., Ratten V. The Effects of Technology Transfers and Institutional Factors on Economic Growth: Evidence from Europe and Oceania. *The Journal of Technology Transfer*, 2019, Vol. 44, pp. 1505–1528.
13. Feyissa T. T., Sharma R. R. K., Lay K. K. The Impact of the Core Company's Strategy on the Dimensions of Supply Chain Integration. *The International Journal of Logistics Management*, 2019, Vol. 30 (3), pp. 231–260.
14. Gille Z. Legacy of Waste or Wasted Legacy? The End of Industrial Ecology in Post-Socialist Hungary. *Environmental Politics*, 2000, Vol. 9 (1), pp. 203–231.
15. Guo B., Geng Y., Sterr T., Dong L., Liu Y. Evaluation of Promoting Industrial Symbiosis in a Chemical Industrial Park: A Case of Midong. *Journal of Cleaner Production*, 2016, Vol. 135, pp. 995–1008.
16. Hashimoto S., Fujita T., Geng Y., Nagasawa E. Realizing CO₂ Emission Reduction through Industrial Symbiosis: A Cement Production Case Study for Kawasaki. *Resources, Conservation & Recycling*, 2010, Vol. 54, pp. 704–710.
17. Huo B., Ye Y., Zhao X., Zhu K. Supply Chain Integration: a Taxonomy Perspective. *International Journal of Production Economics*, 2019, Vol. 207, pp. 236–246.

18. Hutchins M. J., Richter J. S., Henry M. L., Sutherland J. W. Development of Indicators for the Social Dimension of Sustainability in a U. S. Business Context. *Journal of Cleaner Production*, 2019, Vol. 212, pp. 687–697.

19. Ibáñez-Forés V., Bovea M. D., Coutinho-Nóbrega C., de Medeiros H. R. Assessing the Social Performance of Municipal Solid Waste Management Systems in Developing Countries: Proposal of Indicators and a Case Study. *Ecological Indicators*, 2019, Vol. 98, pp. 164–178.

20. Jacobsen N. B. Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects. *Journal of Industrial Ecology*, 2006, Vol. 10, pp. 239–255.

21. Kim H. W., Dong L., Choi A. E. S., Fujii M., Fujita T., Park H.-S. Co-Benefit Potential of Industrial and Urban Symbiosis Using Waste Heat from Industrial Park in Ulsan, Korea. *Resources, Conservation & Recycling*, 2018, Vol. 135, pp. 225–234.

22. Kühnen M., Hahn R. Systemic Social Performance Measurement: Systematic Literature Review and Explanations on the Academic Status Quo from a Product Life-Cycle Perspective. *Journal of Cleaner Production*, 2018, Vol. 205, pp. 690–705.

23. Li B., Xiang P., Hu M., Zhang C., Dong L. The Vulnerability of Industrial Symbiosis: a Case Study of Qijiang Industrial Park, China. *Journal of Cleaner Production*, 2017, Vol. 157, pp. 267–277.

24. Liu X., Bae J. The Vulnerability of Industrial Symbiosis: a Case Study of Qijiang Industrial Park. *Journal of Cleaner Production*, 2017, Vol. 157, pp. 267–277.

25. Lombardi D. R., Laybourn P. Redefining Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 2012, Vol. 16, pp. 28–37.

26. Martin M., Harris S. Prospecting the Sustainability Implications of an Emerging Industrial Symbiosis Network. *Resources, Conservation & Recycling*, 2018, Vol. 138, pp. 246–256.

27. Pao H.-T., Chen C.-C. Decoupling Strategies: CO₂ Emissions, Energy Resources, and Economic Growth in the Group of Twenty. *Journal of Cleaner Production*, 2019, Vol. 206, pp. 907–919.

28. Park H., Chung C. C. The Role of Subsidiary Learning Behavior and Absorptive Capacity in Foreign Subsidiary Expansion. *International Business Review*, 2019, Vol. 28 (4), pp. 685–695.

29. Petit G., Sablayrolles C., Bris G. Y.-L. Combining Eco-Social and Environmental Indicators to Assess the Sustainability Performance of a Food Value Chain: a Case Study. *Journal of Cleaner Production*, 2018, Vol. 191, pp. 135–143.

30. Pires A., Martinho G., Rodrigues S., Gomes M. I. Sustainable Solid Waste Collection and Management. Springer, 2019.

31. Prosman E. J. Supply Chain Capabilities for Industrial Symbiosis in the Process Industry. Lessons from the Cement Industry. Aalborg, Aalborg University Press, 2018.

32. Prosman E. J., Scholten K., Power D. M. Dealing with Defaulting Suppliers Using Behavioral Based Governance Methods: an Agency Theory Perspective. *Supply Chain Management International Journal*, 2016, Vol. 21, pp. 499–511.

33. Qu S. J., Zhou Y. Y., Zhang Y. L., Wahab M. I. M., Zhang G., Ye Y. Y. Optimal Strategy for a Green Supply Chain Considering Shipping Policy and Default Risk. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, Vol. 131, pp. 172–186.

34. Schoubroeck S., Dael M., Passel S., Malina R. A Review of Sustainability Indicators for Biobased Chemicals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, Vol. 94, pp. 115–126.

35. Setia P., Patel P. C. How Information Systems Help Create OM Capabilities: Consequents and Antecedents of Operational Absorptive Capacity. *Journal of Operations Management*, 2013, Vol. 31, pp. 409–431.

36. Shi L., Chertow M. Organizational Boundary Change in Industrial Symbiosis: Revisiting the Guitang Group in China. *Sustainability*, 2017, Vol. 9, pp. 1085.

37. Song X., Geng Y., Dong H., Chen W. Social Network Analysis on Industrial Symbiosis: a Case of Gujiao Eco-Industrial Park. *Journal of Cleaner Production*, 2018, Vol. 193, pp. 414–423.
38. Velenturf A. P. M. Promoting Industrial Symbiosis: Empirical Observations of Low-Carbon Innovations in the Humber Region, UK. *Journal of Cleaner Production*, 2016, Vol. 128, pp. 116–130.
39. Wang Q., Tang H., Yuan X., Zuo J., Zhang J., Gao Z., Hong J. Investigating Vulnerability of Ecological Industrial Symbiosis Network Based on Automatic Control Theory. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, Vol. 25, pp. 27321–27333.
40. Wu J., Pu G., Guo Y., Lv J., Shang J. Retrospective and Prospective Assessment of Exergy, Life Cycle Carbon Emissions, and Water Footprint for Coking Network Evolution in China. *Applied Energy*, 2018, Vol. 218, pp. 479–493.
41. Wu J., Qi H., Wang R. Insight into Industrial Symbiosis and Carbon Metabolism from the Evolution of Iron and Steel Industrial Network. *Journal of Cleaner Production*, 2016, Vol. 135, pp. 251–262.
42. Yazan D. M., Fraccascia L., Mes M., Zijm H. Cooperation in Manure-Based Biogas Production Networks: an Agent-Based Modeling Approach. *Applied Energy*, 2018, Vol. 212, pp. 820–833.
43. Yenipazarli A. Incentives for Environmental Research and Development: Consumer Preferences, Competitive Pressure and Emissions Taxation. *European Journal of Operational Research*, 2019, Vol. 276, pp. 757–769.
44. Yu F., Han F., Cui Z. Evolution of Industrial Symbiosis in an Eco-Industrial Park in China. *Journal of Cleaner Production*, 2015, Vol. 87, pp. 339–347.
45. Zahra S. A., George G. Absorptive Capacity: a Review, Reconceptualization, and Extension. *Academy of Management Review*, 2002, Vol. 27 (2), pp. 185–203.
46. Zhang X., Chai L. Structural Features and Evolutionary Mechanisms of Industrial Symbiosis Networks: Comparable Analyses of Two Different Cases. *Journal of Cleaner Production*, 2019, Vol. 213, pp. 528–539.
47. Zhao X., Huo B., Selen W., Yeung J. H. Y. The Impact of Internal Integration and Relationship Commitment on External Integration. *Journal of Operations Management*, 2011, Vol. 29, pp. 17–32.

Сведения об авторе

Екатерина Эрнестовна Уткина

аспирантка кафедры
экономики инноваций
МГУ имени М. В. Ломоносова.
Адрес: ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет
имени М. В. Ломоносова»,
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1.
E-mail: e.utkina94@gmail.com

Information about the author

Ekaterina E. Utkina

Post-Graduate Student of the Department
for Economics of Innovation
of the Lomonosov MSU.
Address: Federal State Educational Institution
of Higher Professional Education Lomonosov
Moscow State University, 1 Leninskie gory,
Moscow, 119991, Russian Federation.
E-mail: e.utkina94@gmail.com