

# Промышленный симбиоз как инструмент декарбонизации<sup>1</sup>

**И.Ю. БЛАМ**, кандидат экономических наук

E-mail: inna@ieie.nsc.ru; ORCID: 0000-0001-7040-3540

**С.Ю. КОВАЛЕВ**, PhD (ABD)

E-mail: kovalev.2009@yahoo.com; ORCID: 0000-0002-7516-5091

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск

**Аннотация.** В статье анализируется концепция промышленного симбиоза и обосновывается ее актуальность в условиях агрессивной климатической политики. Показано, что организация симбиотических обменов между предприятиями из разных отраслей способствует повышению их общей экономической эффективности. Компании, стремящиеся к углеродной нейтральности, реализуя бизнес-модель индустриального симбиоза, получают возможность не только сократить углеродный след, но и улучшить качественные и эксплуатационные характеристики своей продукции. Кроме того, сотрудничество в пределах промышленной экосистемы, и в том числе совместное финансирование развития инфраструктуры, позволяет извлекать дополнительные выгоды и формировать устойчивую стратегию развития территории. Опыт успешно развивающихся карбоновых хабов показывает, что программы государственной поддержки могут значительно ускорить эволюцию устойчивых симбиотических связей и достижение углеродной нейтральности предприятиями на территории эко-промышленных кластеров. Развитие углеродного регулирования, введение верифицируемой углеродной отчетности и субсидирование внедрения низкоуглеродных технологий государством необходимы для поддержания конкурентоспособности российской экономики.

**Ключевые слова:** промышленный симбиоз; индустриальная экосистема; декарбонизация; изменение климата; низкоуглеродный путь развития

## Введение

Концепция индустриальной экосистемы, в пределах которой отходы одного производства используются в качестве сырья для других, оптимизируя тем самым потребление энергии и материалов, получила свое развитие в конце 1980-х годов (см., например [Frosch, Gallopoulos, 1989]). Впоследствии теория нашла

---

<sup>1</sup> Статья подготовлена в рамках выполнения работ по плану НИР ИЭОПП СО РАН по проекту «Ресурсные территории Востока России и Арктической зоны: особенности процессов взаимодействия и обеспечения связанности региональных экономик в условиях современных научно-технологических и социальных вызовов» (Регистрационный номер – № 121040100278–8).

практическое подтверждение – в Калуннборге (Дания) был выявлен кластер промышленных компаний, объединенных симбиотическими связями, которые обеспечивали сокращение потребления внешних (находящихся за пределами симбиотического объединения) ресурсов<sup>2</sup> за счет обмена побочными продуктами и совместного использования инфраструктурных объектов, что, в свою очередь, приводило к существенному снижению себестоимости продукции. Первые договоренности об обмене отходами и побочными продуктами производства между предприятиями кластера возникли еще в 1970-х гг. (к концу 1980-х гг. действовало уже более десяти подобных контрактов), причем симбиотические связи возникали стихийно, с целью увеличения доходов, расширения бизнеса и обеспечения долгосрочного доступа к воде и энергии.

Промышленный симбиоз в Калуннборге не является единственным в своем роде, на сегодняшний день известны и другие успешно развивающиеся промышленные экосистемы в Австралии, Австрии, Германии, Финляндии и США. Примечательно, что совместное использование ресурсов позволило предприятиям также значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду, хотя изначально экологических целей компании-участницы перед собой не ставили [Chertow, 2007].

В настоящее время интерес к индустриальному симбиозу заметно вырос, что объясняется не столько необходимостью решения экологических проблем, сколько появлением инновационных технологий, благодаря которым бесполезные ранее промышленные отходы стали рассматриваться в качестве дешевых источников сырья и вторичной энергии, обеспечивающих конкурентные преимущества компаний [Cecchin et al., 2020]. В данной статье анализируется опыт успешной реализации одной из моделей циркулярной экономики<sup>3</sup> –

---

<sup>2</sup> К примеру, анализ ресурсных потоков между компаниями индустриального кластера Калуннборга показал, что в 2005 г. около 95% промышленного потребления водных ресурсов кластера обеспечивалось за счет симбиотических связей [Jacobsen 2006].

<sup>3</sup> Термин «циркулярная экономика» (circular economy) получил широкое распространение в научной литературе после его применения в 2013 г. специалистами консалтинговой компании МакКинси в докладе для фонда Эллен МакАртур. Источник: Ellen MacArthur Foundation. *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. 2013. 98 p. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> (дата обращения: 05.05.2022).

промышленного симбиоза – карбоновыми хабами в России и за рубежом<sup>4</sup>.

### Таксономия промышленного симбиоза

Под промышленным (индустриальным) симбиозом в экономической литературе принято понимать модель коллективной оптимизации потребления сырья и материалов на основе обмена побочными продуктами и отходами, а также совместного использования инфраструктурных, энергетических и информационных ресурсов. Его особенностью является сотрудничество предприятий традиционно несвязанных отраслей с целью извлечения дополнительной прибыли за счет широкого спектра синергетических эффектов, географической близости производственных площадок и снижения негативного воздействия на окружающую природную среду [Chertow, 2000].

Основной движущей силой, определяющей развитие спонтанных симбиотических связей, является экономическая мотивация компаний, которая может быть обусловлена не только низкой стоимостью получаемых в результате обмена побочных продуктов или отходов предприятий-партнеров, но и снижением негативного экологического воздействия, стремлением к повышению производительности и/или обеспечению ресурсной безопасности в долгосрочной перспективе. Как показали

---

<sup>4</sup> Под циркулярной экономикой (или экономикой замкнутого цикла) понимают систему хозяйствования, к основным целям которой, помимо производства благ и услуг, относятся минимизация отходов и максимально эффективное использование всех доступных ресурсов. В отличие от концепции промышленного симбиоза, где снижение потребления первичных ресурсов и энергии (и сокращение объемов отходов и эмиссии) достигается путем сотрудничества предприятий традиционно несвязанных отраслей, циркулярная экономика не ограничивается рамками производственных процессов. Сокращение удельного потребления сырья и энергии в рамках экономики замкнутого цикла может быть также достигнуто ориентированным на долгосрочное использование дизайном, техническим обслуживанием и ремонтом в процессе эксплуатации, наличием опций повторного использования, переработки, переоборудования (перееоснащения), реконструкции или восстановлением продукта.

Заметим, что некоторые исследователи указывают на иерархическую структуру циркулярной экономики. В частности, на микроуровне, или на уровне предприятий, компании ограничиваются внедрением бизнес-моделей в рамках одного производства, *мезоуровень предполагает установление и развитие симбиотических связей между предприятиями традиционно несвязанных отраслей*, а на макроуровне основное внимание уделяется развитию городских агломераций и более крупных территориальных объединений [Prieto-Sandoval et al., 2018].

исследования межсекторальных обменов побочными продуктами и производственными отходами на территориях городских агломераций Китая [Ramaswami et al., 2017] и Индии [Chertow et al., 2019], промышленный симбиоз может оказывать существенное влияние и на смягчение негативных последствий климатических изменений.

Бизнес-экосистема, построенная на принципах индустриального симбиоза, является чрезвычайно привлекательной для тиражирования. Эко-промышленные парки, дизайн которых предполагает контролируемую эволюцию симбиотических связей, создаются с завидной частотой с целью реализации проектов ускорения экономического развития, решения проблем депрессивных регионов, экономии ресурсов и улучшения качества окружающей среды. Однако долгосрочное *плановое* развитие промышленных экосистем в подавляющем большинстве случаев терпит фиаско, счастливым исключением, как правило, становятся те плановые модели, где искусственные объединения создавались на основе уже сложившихся под влиянием рынка (или находящихся в стадии формирования) симбиотических связей [Simboli et al., 2020].

Самоорганизующаяся модель симбиоза, в отличие от искусственной, показала большую устойчивость, поскольку она возникает в результате частных договоренностей между предприятиями, заинтересованными в обмене ресурсами (или их совместном использовании) для достижения экономических, социальных или природоохранных целей. Контракты между отдельными компаниями верифицируются рынком, и лишь в случае успеха сотрудничество продолжается и расширяется.

В частности, в кейсе Калуннборга симбиотические связи возникли и эволюционировали в силу необходимости компенсации ограниченности водных ресурсов, а также благодаря дешевизне побочных продуктов предприятий кластера и появлению нового типа отходов, к которому привел отказ от традиционных технологий вследствие ужесточения природоохранного законодательства [Petrikova et al., 2016].

Однако, по мнению экспертов, в случае спонтанных объединений высока вероятность того, что не все существующие возможности взаимовыгодных симбиотических обменов будут использованы. Оптимизация симбиотических сетей на основании рекомендаций внешнего координирующего центра, как правило,

способствует росту экономических бенефиций компаний-участниц и улучшению качества окружающей среды на территории эко-промышленных парков [Chertow & Ehrenfeld, 2012].

### **Развитие симбиотических связей с целью смягчения последствий климатических изменений**

Представленные Европарламентом в феврале 2022 г. поправки к Механизму пограничной корректировки углеродных выбросов<sup>5</sup> предусматривают введение платежей за импорт углеродоемкой продукции в ЕС с 2025 г.<sup>6</sup> Хотя на настоящий момент единые стандарты и методология расчета углеродного следа для различных видов продукции отсутствуют, ожидается, что при определении величины углеродного налога будут учитываться не только прямые, но и косвенные выбросы на всех стадиях технологической цепочки. В сложившейся ситуации бизнес-модели циркулярной экономики, к которым относится и модель промышленного симбиоза, предоставляют уникальные возможности для декарбонизации и сокращения расходов компаний, поставляющих углеродоемкую продукцию в страны ЕС.

Ужесточение климатического законодательства и развитие «офсетных» механизмов (от англ. *offset* – «взаимозачет, компенсация») заставляют крупных производителей нефти стремиться к углеродной нейтральности и стимулируют развитие симбиотических связей. В частности – к созданию так называемых карбоновых хабов (промышленных экосистем, позволяющих с максимальной экономической эффективностью сокращать эмиссию парниковых газов). Активное использование комплекса инновационных технологий улавливания, использования и захоронения углерода (*Carbon Capture, Utilisation and Storage, CCUS*)<sup>7</sup> на территории хаба помогает достичь углеродной нейтральности и поддержать конкурентоспособность углеводородного сырья [Федун, 2020].

---

<sup>5</sup> Carbon Border Adjustment Mechanism, URL: [https://ec.europa.eu/taxation\\_customs/green-taxation-0/carbon-border-adjustment-mechanism\\_en](https://ec.europa.eu/taxation_customs/green-taxation-0/carbon-border-adjustment-mechanism_en) (дата обращения: 25.02.2022).

<sup>6</sup> URL: <https://www.rbc.ru/economics/02/02/2022/61f9a9599a7947b062263d7b> (дата обращения: 25.02.2022).

<sup>7</sup> URL: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/carbon-capture-utilisation-and-storage> (дата обращения: 25.02.2022).

## Проекты развития Хамберсайда и Тиссайда (Великобритания)

Партнерство *BP, Eni, Equinor, National Grid, Shell u Total* (договор о сотрудничестве *the Northern Endurance Partnership, NEP*, был подписан в октябре 2020 г.)<sup>8</sup> было создано с целью разработки и строительства инфраструктуры, предназначенной для транспортировки и безопасного захоронения значительных объемов углекислого газа в британском секторе Северного моря. Предполагается, что проект создаст возможности для декарбонизации примерно 50% промышленных выбросов Великобритании и приблизит страну к достижению углеродной нейтральности<sup>9</sup>. *BP* является оператором строительства морского трубопровода, запланированного на первом этапе и необходимого для внедрения технологий улавливания, использования и захоронения углерода на территории двух крупнейших британских промышленных комплексов – Тиссайда и Хамберсайда. Часть финансирования поступает в рамках Государственной программы декарбонизации промышленности Великобритании.

Целью проекта *Net Zero Teesside (NZT)*<sup>10</sup> является сокращение выбросов комплекса углеродоемких производств на территории городского конгломерата Тиссайд в Северной Англии (на его предприятия приходится 5,6% промышленной эмиссии углекислого газа Великобритании и 5 из 25 крупнейших источников выбросов CO<sub>2</sub> страны). Ожидается, что создание углеродно-нейтрального индустриального кластера позволит улавливать и утилизировать до 1000 Мт CO<sub>2</sub> ежегодно, сохранив при этом

---

<sup>8</sup> URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/reimagining-energy/northern-endurance-partnership-to-develop-offshore-ccus-infrastructure.html> (дата обращения: 25.02.2022).

<sup>9</sup> Правительство Великобритании взяло на себя обязательства обязалось достичь нулевых нетто-выбросов углеродных соединений к 2050 г. И, как подчеркивает Комитет по изменению климата, внедрение инновационных технологий улавливания, использования и захоронения углерода *CCUS* является необходимым условием выполнения взятых на себя обязательств. Без их внедрения достижение поставленной цели создаст серьезные проблемы для британской промышленности и рынка труда, так как *CCUS* – это единственно возможный способ декарбонизации многих отраслей промышленности. В России, по мнению экспертов, основным препятствием для использования технологий *CCUS* является низкая инвестиционная привлекательность подобных проектов, повысить которую могло бы развитие симбиотических связей, например, использование уловленного CO<sub>2</sub> для повышения нефтеотдачи [Смертина, 2021].

<sup>10</sup> URL: <https://www.netzeroteesside.co.uk/project/> (дата обращения: 25.02.2022).

от 35% до 70% рабочих мест в промышленности. Проекты *Net Zero Teesside* и *Northern Endurance Partnership* имеют своей целью привлечение в регион компаний как эмитирующих, так и потребляющих углекислый газ в процессе производства, а также развитие симбиотических связей, обеспечивающих сырьем технологические процессы *CCUS*.

Декарбонизация на базе активного применения инновационных зеленых технологий в рамках проекта углеродно-нейтрального Хамберсайда (*Zero Carbon Humber Partnership, ZCH*)<sup>11</sup> призвана предотвратить банкротство предприятий тяжелой промышленности, не только сохранив при этом существующие рабочие места, но и создав новые высокотехнологичные вакансии. Ожидается, что его реализация приведет к сокращению суммарных годовых выбросов CO<sub>2</sub> Великобритании на 15% и позволит промышленности к 2040 г. избежать выплаты свыше £27 млрд карбоновых налогов.

*Zero Carbon Humber* предусматривает строительство крупнейшего в мире завода по производству водорода из природного газа на территории *Saltend Chemicals Park*<sup>12</sup> на берегу залива *Humber River* в Восточной Англии. Уже на первом этапе это позволит сократить ежегодные выбросы CO<sub>2</sub> приблизительно на 900 тыс. т, и создать предпосылки замещения на предприятиях кластера традиционных источников энергии водородом (в числе прочих на смешанное водородосодержащее топливо планирует перейти газовая электростанция *Triton Power*). Выход завода на полную мощность позволит сократить выбросы и за пределами *Saltend Chemicals Park*.

К 2026 г. сеть трубопроводов должна связать завод по производству водорода с энергоемкими промышленными объектами на территории всего региона, создав возможности для дальнейшей декарбонизации за счет перехода на водород все большего числа предприятий и промышленного потребления улавливаемых выбросов CO<sub>2</sub> (и/или его захоронения в Северном море). Подключение электростанции Дракс (*Drax Power Station*), расположенной в Северном Йоркшире, к этой сети должно стать первым шагом в обеспечении кластера биоэнергией, произведенной

<sup>11</sup> URL: <https://www.zerocarbonhumber.co.uk/> (дата обращения: 25.02.2022).

<sup>12</sup> URL: <https://www.saltendchemicalspark.com/> (дата обращения: 25.02.2022).

в сочетании с инновационными технологиями связывания и хранения углерода (*bioenergy with carbon capture and storage, BECCS*), характеризующимися негативными выбросами. Трубопровод также планируется подвести к газовой электростанции, призванной сглаживать нестабильность поставок от возобновляемых источников энергии. Это позволит снизить сетевые потери и поддержать производство электроэнергии на основе ВИЭ за счет декарбонизированного ископаемого топлива. К сети трубопроводов также будет подключен промышленный центр *Immingham*, где энергетическая компания *Uniper* планирует развивать производство чистого зеленого водорода в рамках выполнения обязательств по достижению углеродной нейтральности европейскими подразделениями *Uniper* к 2035 г. Крупнейший работодатель Хамберсайда, компания по производству стали *British Steel Corporation*, также планирует использовать инфраструктуру *ZCH* для сокращения выбросов  $\text{CO}_2$ .

Проекты *ZCH* реализуются как за счет средств Государственной программы декарбонизации промышленности Великобритании, так и за счет компаний – участниц. Список ключевых игроков *ZCH* не является окончательным, проект открыт для любых инвестиций, способствующих преобразованию Хамберсайда в углеродно-нейтральный промышленный регион. В частности, на следующем этапе запланировано строительство офшорных ветряных установок для обеспечения электроэнергией производства водорода, создание заправочного хаба для водородного транспорта, предоставление услуг захоронения углекислого газа сторонним предприятиям и развитие первого в мире «устойчивого» морского порта с возможностью заправки судов, работающих на водородном топливе (*world's first sustainable maritime refuelling port*).

### **Углеродно-нейтральный Сахалин**

В соответствии с Климатической программой Сахалинской области, утвержденной в декабре 2021 г., поглощение, утилизация и захоронение выбросов парниковых газов на территории острова должны превысить их эмиссию к концу 2025 г. Достигнуть углеродной нейтральности предполагается за счет развития водородного кластера, отказа от угля и перехода на газовое топливо, внедрения инновационных технологий *CCUS*, использования



возможностей природных экосистем, энерго- и ресурсосбережения [Волобуев, 2021]. Рациональное обращение с отходами, изучение возможностей их преобразования в ценные вторичные ресурсы в рамках модели промышленного симбиоза также входит в программу. Замещение первичного сырья отходами и побочными продуктами позволяет значительно сократить углеродный след конечной продукции – например, повторная переработка полимеров позволяет снизить выбросы парниковых газов на 40% по сравнению с производством нового пластикового изделия<sup>13</sup>.

Для реализации Климатической программы на Сахалине запланировано создание первого в России карбонового хаба, развитие которого будет поддерживаться экспериментальной системой торговли углеродными единицами (результатами проектов по сокращению выбросов и разрешениями на выбросы парниковых газов). По оценкам КППМГ<sup>14</sup>, финансирование около 80% проектов декарбонизации Сахалинской области может быть обеспечено за счет средств, полученных предприятиями от реализации углеродных единиц [Волобуев, 2021].

Присутствие крупных компаний, заинтересованных в декарбонизации производства и развитии альтернативной энергетики, является важным преимуществом Сахалинской области. При разработке Климатической программы ожидалось, что существенное сокращение эмиссии CO<sub>2</sub> на территории острова обеспечат корпоративные системы управления выбросами парниковых газов проектов «Сахалин-1», «Сахалин-2» и Восточной горнорудной компании (ВГК). В частности, ВГК анонсировала создание «Зеленого угольного кластера», в основу концепции которого положены три инновационных проекта: ввод в эксплуатацию магистрального угольного конвейера, перевод на электротягу парка карьерных самосвалов (проект реализуется совместно с компанией БелАЗ) и строительство ветряной электростанции суммарной мощностью 67,2 МВт<sup>15</sup>.

---

<sup>13</sup> URL: <https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2022/02/16/909304-sokraschat-vibrosi-parnikovih> (дата обращения: 04.03.2022).

<sup>14</sup> КППМГ (KPMG) – международная компания, оказывающая аудиторские, налоговые и консультационные услуги, входящая в так называемую «большую четверку» аудиторских компаний наряду с Deloitte, Ernst & Young и PwC. Источник. URL: <https://home.kpmg/ru/en/home.html>

<sup>15</sup> URL: <http://www.energyland.info/news-show-tek-ugol-212439> (дата обращения: 25.02.2022).

Важным направлением Климатической программы области является развитие водородной энергетики. Так, ГК «Росатом» анонсировал строительство экспортоориентированного предприятия по производству водорода путем паровой конверсии метана: к 2024 г. планируется произвести первые 30 тыс. т водорода, с выходом к 2030 г. на мощность 100 тыс. т/год<sup>16</sup>. Для получения водорода будет использоваться электроэнергия, производимая на территории ветропарков общей установленной мощностью до 200 МВт, строительство которых должно быть завершено в Сахалинской области компанией «НоваВинд» (дивизион «Росатома», объединяющий его ветроэнергетические активы) в 2024 г. Продукция завода будет поставляться и на местный рынок – с целью осуществления предусмотренного Программой перевода автомобильного, железнодорожного и морского транспорта на водородное топливо [Чурапченко, 2021]. Так, в рамках заключенного в 2019 г. АО «Трансмашхолдинг» (ТМХ), ОАО «РЖД», «Росатомом» и Правительством Сахалинской области соглашения «О сотрудничестве и взаимодействии по проекту организации железнодорожного сообщения с применением поездов на водородных топливных элементах и систем обеспечения их эксплуатации» ТМХ взял на себя обязательства к 2024 г. спроектировать и построить семь водородных поездов, а «Росатом» – создать сеть топливозаправочных комплексов и обеспечить поставки водорода. Вкладывая существенные средства в реализацию проекта, компании подчеркивают, что государственная поддержка чрезвычайно важна как для сокращения сроков реализации проекта, так и для расширения сферы применения водородного топлива<sup>17</sup>. Правительство Сахалинской области также ведет переговоры с ПАО «КАМАЗ»<sup>18</sup> и «Группой ГАЗ»<sup>19</sup> о поставках автомобильных платформ, грузовиков и электробусов на водородных топливных элементах [Чурапченко, 2021].

---

<sup>16</sup> URL: <https://www.interfax.ru/business/788085> (дата обращения: 25.02.2022).

<sup>17</sup> URL: <https://www.tmholding.ru/media/events/11730.html> (дата обращения: 04.03.2022).

<sup>18</sup> URL: [https://kamaz.ru/press/releases/kamaz\\_aktivno\\_razvivaet\\_vodorodnyy\\_transport/?sphrase\\_id=5698291](https://kamaz.ru/press/releases/kamaz_aktivno_razvivaet_vodorodnyy_transport/?sphrase_id=5698291) (дата обращения: 05.03.2022).

<sup>19</sup> URL: <https://azgaz.ru/gaz-world/news/gruppa-gaz-predstavlyaet-na-vystavke-comtrans-elektrobussy-na-vodorodnom-toplive/> (дата обращения: 05.03.2022).

## Заключение

Ввиду ужесточения требований климатического регулирования индустриальный симбиоз, обеспечивающий декарбонизацию производственной деятельности не только за счет сокращения выбросов парниковых газов, но и путем снижения энергоемкости и более эффективного использования ресурсов, представляет собой чрезвычайно привлекательную бизнес-модель.

Симбиотические обмены между предприятиями, относящимися к традиционно независимым отраслям, – это хорошее решение для компаний, взявших на себя обязательства достижения углеродной нейтральности, поскольку позволяют добиваться не только сокращения углеродного следа, но и снижения себестоимости продукции. Кроме того, совместное финансирование развития инфраструктуры в рамках промышленной экосистемы позволяет извлекать дополнительные выгоды взаимодействия и формировать устойчивую стратегию развития территории.

Изучение опыта успешно развивающихся карбоновых хабов свидетельствует о том, что программы государственной поддержки могут значительно ускорить эволюцию устойчивых симбиотических связей и декарбонизацию территории размещения. Развитие углеродного регулирования, введение верифицируемой углеродной отчетности и субсидирование внедрения низкоуглеродных технологий государством необходимы для поддержания конкурентоспособности российской экономики.

## Литература / References

*Волобуев А.* Сахалин хотят декарбонизировать за счет газа, ВИЭ и электромобилей // *Ведомости*. 2021. 14 дек. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/12/15/900715-sahalin-hotyat-dekarbonizirovat> (дата обращения: 07.03.2022).

Volobuev, A. (2021). Sakhalin is to be decarbonized by the means of natural gas, renewable energy sources, and electric vehicles. *Vedomosti*. 14 Dec. (In Russ.) Available at: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/12/15/900715-sahalin-hotyat-dekarbonizirovat> (accessed 07.03.2022).

*Смертина П.* ЛУКОЙЛ вступает в общество декарбонариев // *Коммерсантъ*. 2021. 17 дек. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5139325> (дата обращения: 07.03.2022).

Smertina, P. (2021). Lukoil joins the Decarbonari society. *Kommersant*. 17 Dec. (In Russ.). Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/5139325> (accessed 07.03.2022).

Федун Л. Россия может торговать воздухом, очищенным от CO<sub>2</sub> // Коммерсантъ. 2020. № 215. С. 10. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4584070> (дата обращения: 07.03.2022).

Fedun, L. (2020). Russia may trade in air purified of CO<sub>2</sub>. *Kommersant*. 24 Nov. No. 215. P. 10. (In Russ.). Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/4584070> (accessed 07.03.2022).

Чурапченко Е. Остров водорода // Коммерсантъ. Приложение «Энергетика». 2021. № 180. С. 2. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5008543> (дата обращения: 07.03.2022).

Churapchenko, E. (2021). Island of hydrogen. *Kommersant-Energy*. 5 Oct. No.180. P. 2. (In Russ.). Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/5008543> (accessed 07.03.2022).

Cecchin, A., Salomone, R., Deutz P., Raggi, A., Cutaia, L. (2020). Relating Industrial Symbiosis and Circular Economy to the Sustainable Development Debate. *Industrial Symbiosis for the Circular Economy. Strategies for Sustainability*. Salomone R., Cecchin A., Deutz P., Raggi A., Cutaia L. (eds). Springer. Pp. 1–25. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36660-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36660-5_1)

Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and Environment*. Vol. 25. Pp. 313–337. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>

Chertow, M., Ehrenfeld, J. (2012). Organizing Self-Organizing Systems. *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 16. No. 1. Pp. 13–27. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00450.x>

Chertow, M., Gordon, M., Hirsch, P., Ramaswami, A. (2019). Industrial symbiosis potential and urban infrastructure capacity in Mysuru, India. *Environmental Research Letters*. Vol. 14. No. 7. DOI: <http://doi.org/10.1088/1748-9326/ab20ed>

Chertow, M.R. (2007). “Uncovering” Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 11. No. 1. Pp. 11–30. DOI: <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>

Frosch, R.A., Gallopoulos, N.E. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*. Vol. 261. No. 3. Pp. 144–152. DOI: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144>

Jacobsen, N.B. (2006). Brings Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects. *Industrial Ecology*. Vol.10. No.1–2. Pp. 239–255. DOI: <https://doi.org/10.1162/108819806775545411>

Petrikova, K., Borsekova, K., Blam, I. (2016). Industrial Symbiosis in European Policy: Overview of Recent Progress. *Acta Universitatis Lodzianis. Folia oeconomica*. Vol. 2. No. 320. Pp. 87–100. DOI:10.18778/0208-6018.320.07

Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., Ormazabal, M. (2018). Towards a Consensus on the Circular Economy. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 179. Pp. 605–615. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>

Ramaswami, A., Tong, K., Fang, A. et al. (2017). Urban cross-sector actions for carbon mitigation with local health co-benefits in China. *Nature Climate Change*. No. 7. Pp. 736–742. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate3373>

Simboli, A., Taddeo, R., Raggi, A., Morgante, A. (2020). Structure and Relationships of Existing Networks in View of the Potential Industrial Symbiosis Development. *Industrial Symbiosis for the Circular Economy. Strategies for Sustainability*. Salomone R., Cecchin A., Deutz P., Raggi A., Cutaia L. (eds). Springer. Pp. 57–71. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36660-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36660-5_4)

Статья поступила 10.03.2022

Статья принята к публикации 14.03.2022

**Для цитирования:** *Блам И. Ю., Ковалев С. Ю.* Промышленный симбиоз как инструмент декарбонизации// ЭКО. 2022. № 7. С. 67–79. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2022-7-67-79

**For citation:** Blam, I.Yu., Kovalev, S.Yu. (2022). Industrial Symbiosis as a Tool for Decarbonization. *ECO*. No. 7. Pp. 67–79. (In Russ.). DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2022-7-67-79

## Summary

*Blam, I.Yu., Cand. Sci. (Econ.), Kovalev, S.Yu., Ph.D., Institute of Economics and Industrial Engineering, SB RAS, Novosibirsk*

### **Industrial Symbiosis as a Tool for Decarbonization**

**Abstract.** The authors consider the concept of industrial symbiosis and substantiate its relevance in the context of aggressive climate policy. It is shown that organization of symbiotic exchanges between enterprises belonging to traditionally independent industries contributes to improvement of their overall economic efficiency. Companies pursuing carbon neutrality by implementing the business model of industrial symbiosis are able not only to reduce the carbon footprint, but also to improve the quality and performance of their products. In addition, cooperation within the industrial ecosystem, including the joint financing of infrastructure development, allows to extract additional benefits of interaction and form a sustainable strategy for the development of the territory.

The experience of successfully developing carbon hubs suggests that government support programs can significantly accelerate the evolution of sustainable symbiotic relationships and the achievement of carbon neutrality by enterprises in the territory of eco-industrial clusters. The development of carbon regulation, introduction of verifiable carbon reporting and subsidization of low-carbon technology implementation by the government are necessary to maintain the competitiveness of the Russian economy.

**Keywords:** *industrial symbiosis; industrial ecosystem; decarbonization; climate change; low carbon path of development*