

Научно-исследовательский журнал «Modern Economy Success»
<https://mes-journal.ru>

2025, № 1 / 2025, Iss. 1 <https://mes-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

Шифр научной специальности: 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

УДК 330.341

DOI: 10.58224/2500-3747-2025-1-354-365



¹ Миронова Д.Ю., ¹ Павлова Е.А., ¹ Корытова В.Е., ¹ Будрин А.Г.,
¹ Университет ИТМО

Развитие концептуальных моделей формирования индустриального симбиоза с участием высших учебных заведений

Аннотация: статья посвящена анализу существующих моделей формирования промышленного симбиоза и особенностей трансформации этих моделей при участии высших учебных заведений как важнейшего элемента коллаборативного инновационного сотрудничества. Наличие у вузов продуктов вторичной переработки и инновационных технологий в области экономики замкнутого цикла может стать основой для совместных проектов с партнерами из индустрии, органами власти и научно-образовательной сферы. Данное сотрудничество может привести к созданию новых эффективных методов, которые не только улучшат экологическую ситуацию, но и откроют новые возможности для экономического роста и повышения конкурентоспособности предприятий. В свою очередь использование концепции индустриального симбиоза может способствовать развитию внутренней инновационной среды вузов за счет повышения эффективности управления проектной деятельностью. В рамках исследования проведен сравнительный анализ существующих моделей индустриального симбиоза и направлений использования искусственного интеллекта в рамках данного сотрудничества, предложен авторский подход к реализации концепции индустриального симбиоза с участием вузов в рамках существующих кооперационных моделей.

Ключевые слова: инновации, управление инновационной деятельностью, индустриальный симбиоз, промышленный симбиоз, модели формирования индустриального симбиоза, инновационное сотрудничество, искусственный интеллект

Для цитирования: Миронова Д.Ю., Павлова Е.А., Корытова В.Е., Будрин А.Г. Развитие концептуальных моделей формирования индустриального симбиоза с участием высших учебных заведений // Modern Economy Success. 2025. № 1. С. 354 – 365. DOI: 10.58224/2500-3747-2025-1-354-365

Поступила в редакцию: 1 октября 2024 г.; Одобрена после рецензирования: 1 декабря 2024 г.; Принята к публикации: 9 января 2025 г.

¹ Mironova D.Yu., ¹ Pavlova E.A., ¹ Korytova V.E., ¹ Budrin A.G.,
¹ ITMO University

Development of conceptual models for the formation of industrial symbiosis with the participation of higher education institutions

Abstract: the article is dedicated to the analysis of existing models of industrial symbiosis and the characteristics of the transformation of these models with the participation of higher education institutions as a crucial element of collaborative innovative cooperation. The presence of secondary recycling products and innovative technologies in the field of circular economy within universities can serve as a foundation for joint projects with partners from industry, government bodies, and the scientific-educational sphere. This collaboration may lead to the creation of new effective methods that not only improve environmental conditions but also open new opportunities for economic growth and enhance the competitiveness of enterprises. Furthermore, the

application of the industrial symbiosis concept can foster the development of an internal innovative environment within universities by increasing the efficiency of project management activities. Within the framework of this research, a comparative analysis of existing models of industrial symbiosis and the directions for utilizing artificial intelligence in this collaboration has been conducted, and an author's approach to implementing the concept of industrial symbiosis involving universities within existing cooperative models has been proposed.

Keywords: innovation, innovation management, industrial symbiosis, industrial symbiosis, models of industrial symbiosis formation, innovative collaboration, artificial intelligence

For citation: Mironova D.Yu., Pavlova E.A., Korytova V.E., Budrin A.G. Development of conceptual models for the formation of industrial symbiosis with the participation of higher education institutions. *Modern Economy Success*. 2025. 1. P. 354 – 365. DOI: 10.58224/2500-3747-2025-1-354-365

The article was submitted: October 1, 2024; Approved after reviewing: December 1, 2024; Accepted for publication: January 9, 2025.

Введение

В настоящее время во многих странах активно обсуждаются вопросы неэффективной переработки и вторичного использования отходов в качестве сырья при изготовлении новой продукции [1, 2]. Наблюдается формирование и развитие тренда ответственного потребления, возникающего в условиях цифровой трансформации и роста экологического сознания, появление ряда дополнительных требований во всей цепочке создания стоимости продукта (технологии производства, программы корпоративной социальной ответственности, сертификации, прозрачность бизнес-процессов, сырье и эксплуатационные характеристики продукта) [3].

Устранение проблемы вторичного использования отходов могло бы способствовать улучшению как экологических условий, так и экономической эффективности в промышленности благодаря расширению сотрудничества с университетами. Осознание взаимосвязи между организациями и установление взаимовыгодных отношений имеют важное значение для повышения капитализации производства и экономики регионов и стран. Совокупность этих факторов обеспечит снижение затрат на утилизацию отходов в определенных отраслях промышленности и получение прибыли от использования вторичного сырья и переработанных материалов с целью производства новой продукции [4]. Университеты могут играть ключевую роль в разработке и внедрении инновационных технологий переработки отходов, которыми они располагают, что обеспечит становление экономики замкнутого цикла и развитие индустриального (промышленного) симбиоза (ИС) – как отдельного перспективного и более узкого направления. Помимо этого,

взаимодействие вузов и промышленности может быть значительно усилено интеграцией искусственного интеллекта (ИИ). ИИ способен анализировать большие объемы данных, предлагать оптимальные стратегии и автоматизировать рутинные задачи, что способствует повышению эффективности использования ресурсов и развитию инноваций. Такое сотрудничество может привести к созданию новых эффективных методов, которое не только улучшит экологическую ситуацию, но и откроет новые возможности для экономического роста и повышения конкурентоспособности предприятий.

Исследовательская проблема. Целью данной научной статьи является исследование трансформации существующих моделей индустриального (промышленного) симбиоза в результате включения высшего учебного заведения (вуза) в качестве элемента симбиотического колаборативного партнерства. Задачами исследования являются: исследование и сравнительный анализ существующих моделей индустриального симбиоза, исследование направлений использования ИИ в индустриальном симбиозе, формирование авторского подхода к реализации концепции индустриального симбиоза с участием университета в рамках существующих кооперационных моделей.

Литературный обзор. Анализ литературы по теме исследования (Чертоу М.Р., Эренфельд, Сокка Л., Маллаваараччи Х., Вахидзаде Р., Хак Х., Чжан Я., Мортенсен Л., Оутон К., Аль-Таббаа О. и др.) показал, что формирование индустриального симбиоза (в том числе с участием университетов) можно концептуализировать с помощью различных моделей, которые подчеркивают сотрудничество, совместное использование ресурсов и обмен знаниями [5-10]. Кооперационное

взаимодействие в сфере индустриального симбиоза, осуществляемое между коммерческими и некоммерческими организациями, можно представить в виде следующих моделей [11]:

1. Самоорганизующаяся модель предполагает спонтанное и хаотичное формирование и развитие ИС, отсутствие лидера по выстраиванию кооперационных связей, достижение экономического эффекта за счет новых бизнес-моделей, либо за счет снижения издержек, диверсификации бизнеса и др.

2. Модель формирования ИС, лидером которого выступает НКО, принимающая участие в обмене продуктов вторичной переработки предполагает плановый подход развития ИС через целенаправленные действия предприятий различных отраслей по их размещению в территориальной близости друг от друга для организации совместного использования ресурсов. Лидер занимается популяризацией концепции циркулярной экономики и расширению кооперационных связей.

3. Модель формирования ИС под лидерством коммерческой организации, участвующей в обмене продуктов вторичной переработки, предполагает плановый подход, где коммерческая организация-лидер участвует в симбиотических обменах, но не всегда инициирует создание новых цепочек (либо, предвидя стратегический потенциал в развитии индустриальных партнеров, выделяет или привлекает финансирование для развития ИС).

4. Модель формирования ИС под лидерством НКО, не принимающей участие в обмене продуктов вторичной переработки, также предполагает плановый подход, где руководство может осуществляться управляющей компанией или специализированной государственной организацией. Лидер имеет бюджет для развития симбиоза, финансируемый преимущественно из бюджетных источников.

5. Модель формирования ИС под лидерством коммерческой организации, не участвующей в обмене продуктов вторичной переработки основана на плановом подходе и предполагает, что функция лидера часто является дополнительной и может быть вызвана стремлением к диверсификации, созданию инновационных продуктов или налаживанию партнерств. Финансирование может поступать из маркетингового бюджета, целевых грантов или взносов от участников симбиотических цепочек.

Анализ существующих моделей

кооперационного взаимодействия и условий их применения показывает, что для решения задач технологической независимости и перехода к циркулярной экономике необходимо интегрировать коммерческие и некоммерческие организации на межотраслевом и межрегиональном уровнях. Данный подход требует разработки новых организационно-экономических моделей партнерства, которые координируют деятельность различных участников региональных социально-экономических систем [12].

Также анализ научной литературы (Дэвис К., Грэм Э., Хацидимитриу Т., Чжу Ц., Ху Ш., Гациура А. и др.) показал перспективы использования искусственного интеллекта (ИИ), который играет преобразующую роль в формировании ИС, повышая эффективность и результативность обмена ресурсами между отраслями. Рассмотрим некоторые из направлений использования ИИ:

1. Применение машинного обучения: ИИ может анализировать большие объемы данных из патентов и академической литературы для выявления потенциальных способов использования отходов, тем самым облегчая замену материалов в различных отраслях [13].

2. Гибридные рекомендательные системы: данные системы улучшают торговлю ресурсами, оценивая множество критериев помимо предопределенных шаблонов, что позволяет более динамично и эффективно распределять ресурсы, предоставляя в том числе индивидуальные рекомендации [14].

3. Интеллектуальные платформы управления: платформы используют ИИ для моделирования существующих знаний о ИС, что позволяет анализировать потенциальные синергии и оптимизировать материальные обмены [15].

4. Сложное построение сетей: ИИ помогает в построении сложных многоотраслевых симбиотических сетей с помощью интерактивных процессов вывода, которые оптимизируют проектирование соответствия ввода-вывода. Этот подход показал повышение эффективности формирования симбиотических сетей и снижение вычислительной нагрузки, способствуя лучшему управлению ресурсами в различных отраслях [16].

Таким образом с помощью различных методов ИИ обеспечивает значительные преимущества в оптимизации ИС. Тем не менее остаются проблемы с интеграцией этих технологий в существующие структуры и обеспечением вовлеченности заинтересованных сторон.

Необходимо соблюдать баланс между технологическим прогрессом и практической реализацией и проводить постоянные исследования, чтобы полностью понять последствия и ограничения ИИ в этом контексте [13].

Материалы и методы исследований

Методологическая база исследования сформирована общенаучными принципами системного и комплексного подходов. В рамках работы были применены научные методы исследования, такие как метод сравнительного анализа, систематизации, сравнений и аналогий, проведены кабинетные исследования, включая проведение литературного обзора зарубежных и отечественных исследователей и специалистов в области промышленного симбиоза, коллaborативного инновационного сотрудничества и циркулярной экономики, проведен трендвотчинг и экспертный анализ.

Результаты и обсуждения

В условиях системных кризисов для устойчивого развития и достижения импортонезависимости отечественных производств авторами исследования выдвигается гипотеза о том, что эффективным инструментом экономической политики может стать формирование моделей кооперационного взаимодействия в сфере ИС (между коммерческими и некоммерческими организациями), в рамках которого вуз станет неотъемлемым элементом. Наиболее перспективной может стать модель, где вуз станет центральным элементом кооперационного взаимодействия. Благодаря наличию партнерских связей с представителями широкого круга предприятий, научно-образовательных и профильных некоммерческих организаций вуз может формировать симбиотические цепочки в различных областях с учетом интересов всех вышеупомянутых организаций (нивелируя тем самым ряд недостатков, выявленных при анализе существующих моделей). Наличие прочных связей вуза как государственного учреждения с органами власти способствуют получению различных субсидий и грантов на реализацию различных

пиilotных проектов и инициатив (формирование зоны индустриального симбиоза с участием вуза может быть одной из них).

В рамках исследования был сформирован авторский подход к реализации концепции индустриального симбиоза (ИС) в рамках существующих кооперационных моделей. При реализации подхода в первую очередь необходимо определить потенциальных участников. К коммерческим организациям относятся: предприятия, объекты энергетической инфраструктуры и другие организации, основной целью которых является извлечение прибыли [17]. К некоммерческим организациям будем относить: вузы, НИИ, ассоциации и прочие организации, не имеющие извлечение прибыли в качестве основной цели своей деятельности [18].

Далее необходимо определить возможность трансформации рассмотренных ранее пяти моделей с учетом формирования инновационного коллaborативного сотрудничества после включения вуза в каждую из вышеописанных моделей. По мнению авторов, каждая из моделей может быть трансформирована, при этом, в нескольких моделях рассмотрение вуза как ключевого элемента инновационной кооперации будет более эффективным, а в каких-то менее. В представленных моделях стрелками конкретного цвета отмечены взаимосвязи между организациями: вузы – синий; индустриальные партнеры (предприятия) – зеленый; энергетические объекты – оранжевый; профильные организации (клusters, ассоциации) – фиолетовый. Каждая организация может участвовать в симбиотической цепочке, предлагая отходы, ресурсы, технологии и финансирование. Инициатором кооперации может быть как коммерческая, так и некоммерческая организация, выделенная красным шрифтом.

На рис. 1 представлена трансформация самоорганизующейся модели, которая характерна спонтанным (хаотичным) сотрудничеством, где вуз представляется как центр инноваций в качестве элемента кооперации инновационного коллaborативного сотрудничества (рис. 1).

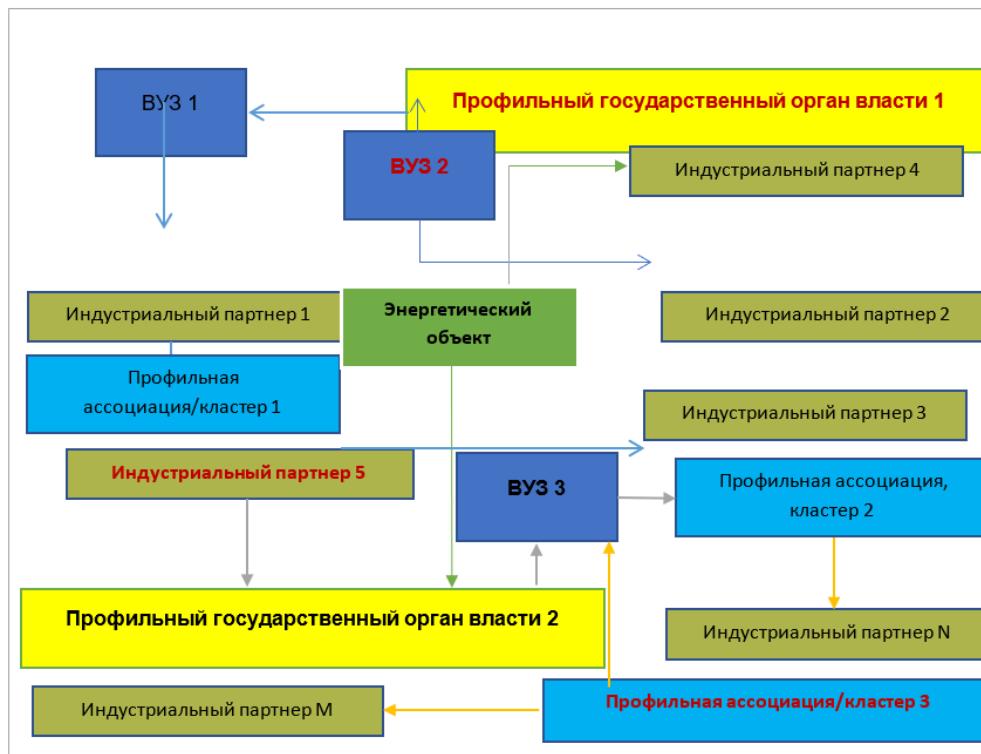


Рис. 1. Трансформация самоорганизующейся модели ИС с включением вуза как элемента симбиотического взаимодействия.

Fig. 1. Transformation of a self-organizing model of an information system with the inclusion of a university as an element of symbiotic interaction.

На предложенной модели видно несколько схем кооперации, когда инициатором выступает: вуз, профильный орган власти, индустриальный партнер, энергетический объект и ассоциация/кластер. В данной модели вуз мог бы взять на себя центральную роль, став ядром инновационного колаборативного сотрудничества. При этом любая организация может стать потенциальным инициатором, однако, обращаясь в вуз, первоначальный инициатор мог бы рассчитывать на координацию процесса формирования симбиотической цепочки и содействие в привлечении новых партнеров. В рамках самоорганизующейся модели вузы могут выполнять консалтинговую функцию и информировать партнеров о преимуществах индустриального симбиоза, выступая в качестве посредника, но не участвуя напрямую в обмене ресурсами.

Следующая модель формирования ИС, лидером которой выступает НКО, принимающая участие в

обмене продуктов вторичной переработки, предполагает участие вуза в роли источника инновационных проектов, так как вуз, как и другие некоммерческие организации, имеет свои отходы (например, утратившее потребительские свойства оборудование, вышедшие из строя картриджи и прочие расходные материалы, макулатура, пищевые отходы и др.). На рис. 2 представлена трансформация модели формирования ИС под лидерством НКО, участвующей в обмене продуктов вторичной переработки, с добавлением вуза как потенциального участника/инициатора ИС. В рамках данной модели представлено 3 варианта индустриального симбиоза: 1) вуз является центральным звеном инновационной колаборации; 2) профильная ассоциация/кластер является ядром кооперации; 3) профильный государственный орган власти является звеном при формировании симбиотических цепочек.

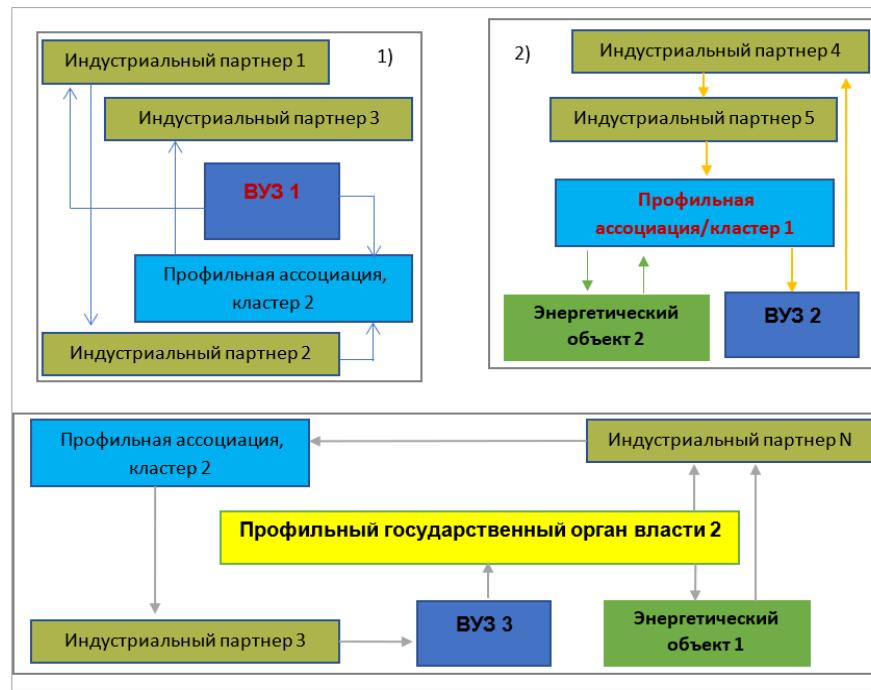


Рис. 2. Трансформация модели формирования ИС под лидерством НКО, участвующей в обмене продуктов вторичной переработки после включения вуза как элемента симбиотического взаимодействия.

Fig. 2. Transformation of the model of formation of the information system under the leadership of an NPO participating in the exchange of secondary processing products after the inclusion of a university as an element of symbiotic interaction.

В данной модели лидер ИС выполняет задачу популяризации концепции циркулярной экономики, привлечения новых членов симбиотических цепочек и формирования новых инновационных проектов. В данном случае вуз, в качестве инновационного и технологического хаба, наравне с другими НКО мог бы стать полноценным и эффективным ядром данной модели.

Модель формирования ИС под лидерством коммерческой организации, участвующей в обмене продуктов вторичной переработки, предполагает, что коммерческая организация,

являющаяся лидером кооперации, участвует в симбиотических обменах, но не всегда инициирует создание новых цепочек. Включение в данную модель вуза позволит ему внедрять инновационные технологии в реальный сектор экономики и предоставлять консультационную помощь партнерам в области циркулярной экономики. На рис. 3 представлено два варианта взаимодействия организаций: в первом случае инициатором выступает объект энергетической инфраструктуры, во втором – предприятие (индустриальный партнер).

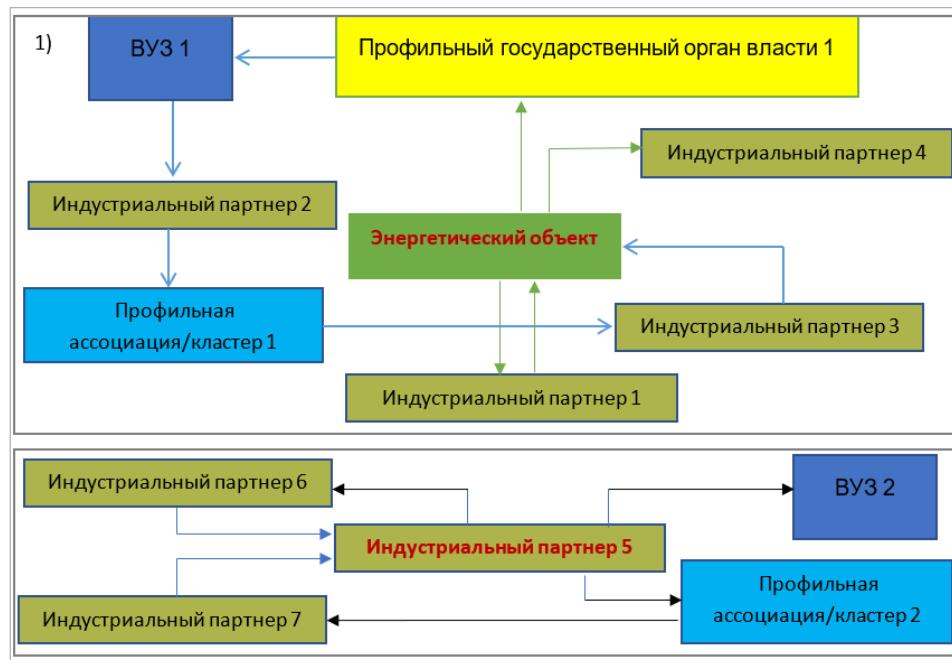


Рис. 3. Трансформация модели формирования ИС под лидерством коммерческой организации, участвующей в обмене продуктов вторичной переработки, после включения вуза как элемента симбиотического взаимодействия.

Fig. 3. Transformation of the model of formation of the information system under the leadership of a commercial organization participating in the exchange of secondary processing products, after the inclusion of a university as an element of symbiotic interaction.

В данной модели роль вуза как разработчика инноваций является второстепенной, как и в других примерах моделей формирования ИС, описанных в научной литературе, вузы не были лидерами индустриального симбиоза. Однако следующая модель позволяет вузу, как генератору инновационных проектов, стать центральным звеном инновационного коллаборативного сотрудничества.

Модель формирования ИС под лидерством

НКО, не принимающей участия в обмене продуктов вторичной переработки, предполагает, что менеджмент может осуществлять управляющая компания, муниципальное предприятие или специализированная государственная организация. На рис. 4 представлена модернизированная модель формирования ИС под лидерством вуза, не участвующим в обмене продуктов вторичной переработки.

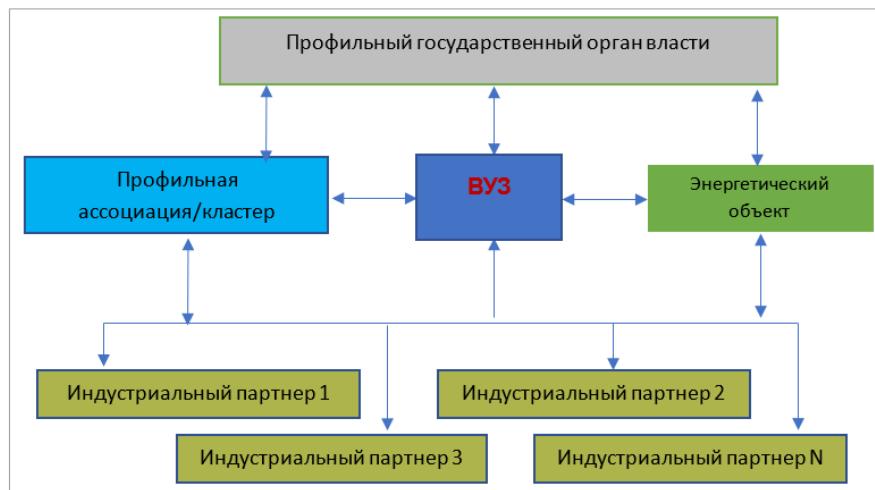


Рис. 4. Трансформация модели формирования ИС под лидерством НКО, не участвующей в обмене продуктов вторичной переработки, после включения вуза как элемента симбиотического взаимодействия.

Fig. 4. Transformation of the model of formation of the information system under the leadership of an NPO that does not participate in the exchange of secondary processing products, after the inclusion of a university as an element of symbiotic interaction.

В данной модели вуз может стать ключевым участником в построении индустриального симбиоза, выступая центром научно-исследовательской и проектной инновационной деятельности в разных сферах, что могло бы способствовать развитию трансфера технологий в другие области и реализации концепции устойчивого развития регионов. Вузы обладают множеством инновационных идей и технологий, способных обеспечить предприятиям увеличение результативности их работы, однако в России трансфер вузовских технологий невысок, что подчеркивает необходимость создания инновационных методов поддержки сотрудничества между образованием, бизнесом и властью

[19].

Модель формирования ИС под лидерством коммерческой организации, не участвующей в обмене продуктов вторичной переработки, предполагает, что для компании-лидера деятельность, связанная с формированием симбиотических цепочек, часто является дополнительной, однако создание инновационных продуктов или бизнес-моделей может мотивировать ее к такой деятельности. На рис. 5 представлена модернизированная модель под лидерством малого инновационного предприятия (МИП), созданного на базе вуза, не участвующего в обмене продуктов вторичной переработки.

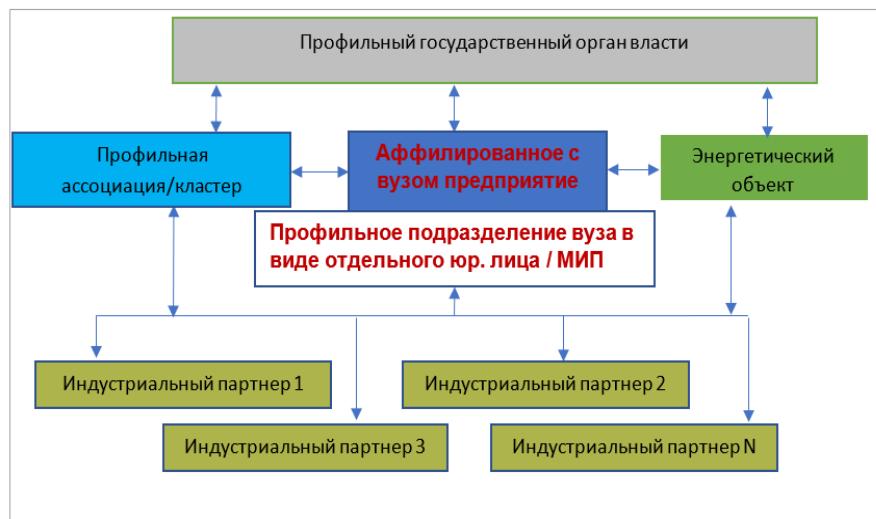


Рис. 5. Трансформация модели формирования ИС под лидерством коммерческой компании, не участвующей в обмене продуктов вторичной переработки, после включения вуза как элемента симбиотического взаимодействия.

Fig. 5. Transformation of the model of formation of the information system under the leadership of a commercial company not participating in the exchange of secondary processing products, after the inclusion of a university as an element of symbiotic interaction.

Данная модель описывает механизм работы организации-лидера с функционалом, который подходит для вуза как технологического и инновационного хаба (профильное подразделение вуза, например, центр трансфера технологий или проектный офис, существующий в форме малого инновационного предприятия и т.п.). С одной стороны, формирование коллaborативного сотрудничества не является основной задачей вуза, однако оно способствует улучшению взаимодействия с партнерами и запуску совместных инновационных проектов. Реализация концепции ИС будет полезна для управления проектной инновационной деятельностью в вузах, так как она может способствовать улучшению взаимодействия и совместного использования ресурсов между различными группами и факультетами, уменьшению экологической нагрузки, а также привести к экономической выгоде.

Рассмотренные трансформации моделей формирования ИС показывают разные роли вуза в индустриальном симбиозе, где он может быть как центральным, так и второстепенным участником. По мнению авторов исследования, с точки зрения степени вовлеченности вуза в инновационные колаборативные процессы, наиболее эффективной является модель, в которой вуз (как НКО) выступает ядром кооперации, не участвуя в обмене вторичной переработки. Модель, в рамках

которой вуз сможет принимать участие в построении симбиотических цепочек при условии, что на его базе будет создано МИП (с определенной долей в этом предприятии), для повышения эффективности взаимодействия с партнерами, также может быть реализована и показать хорошие результаты.

Выводы

Развитие кооперационных связей вузов с потенциальными партнерами в сфере индустриального симбиоза представляет собой новое и перспективное направление. Проблема кооперации между вузами, предприятиями и государством остается актуальной, что связано с недостаточным использованием имеющегося у университетов потенциала. В связи с этим компании-партнёры, имеющие возможность увеличить результативность своей деятельности, часто не пользуются возможностью колаборативного сотрудничества с вузами. Наличие у вузов продуктов вторичной переработки и инновационных технологий в области экономики замкнутого цикла может стать основой для совместных проектов с партнёрами из индустрии, органов власти и научной сферы. Для этого важно принимать участие в профильных мероприятиях и продвигать собственные инновационные разработки на российском и международном рынках.

В дополнение к этому, взаимодействие вузов и промышленности может быть значительно усилено интеграцией искусственного интеллекта (ИИ). Данная интеграция помогает устраниć разрыв между академическими кругами и промышленностью, создавая инновационные и интеллектуальные образовательные среды, которые отражают реальные практики в промышленности. Это, в свою очередь, формирует новые подходы к обучению и развитию практических навыков, необходимых для адаптации к меняющемуся промышленному ландшафту [20].

Так или иначе для того, чтобы деятельность вуза в области индустриального симбиоза была продуктивной, необходимо создать или модернизировать профильное сервисное подразделение с квалифицированными сотрудниками. В связи с этим, можно сделать заключение о возможности использования концепции ИС для целей повышения эффективности управления проектной инновационной деятельностью в вузах, что в свою очередь может способствовать развитию внутренней инновационной среды вузов. Университеты располагают перспективными инновационными разработками, которые могут повысить экономическую и экологическую эффективность предприятий, а невысокий уровень трансфера технологий, создаваемых в вузах, подчеркивает необходимость создания новых

способов поддержки кооперации между образованием и индустрией [21].

Концепция развития индустриального симбиоза может стать моделью кооперации между производством, вузами, НИИ и местной администрацией, в которой ключевую роль займет вуз благодаря тому, что он может: предоставлять инновационные разработки и знания, аккумулировать базы задач от предприятий и обладать пониманием внедрения релевантных инновационных технологий в производство; привлекать партнеров и инвесторов, которые напрямую заинтересованы в образовании кооперационных связей; заниматься исследованием потребностей рынков и состояния компаний, особенностей их функционирования и имеющихся ресурсов; создавать цифровую платформу для взаимодействия всех участников проектной деятельности [22].

Выполняя такой пул задач, вузы смогут стать центром знаний и инновационных технологий, объединяя вокруг себя различных партнеров и инвесторов, а также находя взаимопонимание с органами власти. Результаты исследования имеют теоретическое как теоретическое значение, так и могут быть использованы профильными специалистами при планировании и развитии промышленного симбиоза и выстраивании коллегиативного сотрудничества с участием высших учебных заведений.

Список источников

1. Аврора М.Р. Экологическая экономика и экономика окружающей среды: генезис, соотношение и проблемы // II Творчество молодых ученых. 2017. № 1-3. С. 161 – 166.
2. Дружинина А.Р., Канунникова К.И., Голубева А.С., Волков А.Р., Павлова Е.А. Ответственное потребление и производство в системе целей устойчивого развития: комплексный подход в системе утилизации отходов // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Т. 11. № 11. С. 2471 – 2484
3. Budrin A., Soldatova A., Vorobeva A., Korytova V. Responsible consumption in the context of ESG transformation of the economy // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 531. P. 05029. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453105029>
4. Golubeva A.S., Pavlova E.A., Volkov A. Perspectives on Energy Security in the Russian Federation: A Comparative Analysis of Renewable Energy Sources // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 990. № 1. P. 012021
5. Ashton W.S., Chertow M.R., Althaf S. Industrial Symbiosis: Novel Supply Networks for the Circular Economy // Circular Economy Supply Chains: From Chains to Systems, Emerald Publishing Limited, Leeds. 2022. P. 29 – 48. <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-544-620221002>
6. Vahidzadeh R., Bertanza G., Sbaaffoni S., Vaccari M. Regional industrial symbiosis: A review based on social network analysis // Journal of Cleaner Production. 2020. P. 124054. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124054>
7. Mortensen L., Kørnøv L. Critical factors for industrial symbiosis emergence process // Journal of Cleaner Production. 2019. № 212. P. 56 – 69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.222>
8. Haq H., Välisuo P., Niemi S. Modelling Sustainable Industrial Symbiosis // Energies. 2021. № 14. P. 1172. <https://doi.org/10.3390/en14041172>

9. Zhang Y., Zheng H., Chen B. et al. A review of industrial symbiosis research: theory and methodology // *Front. Earth Sci.* 2015. № 9. P. 91 – 104. <https://doi.org/10.1007/s11707-014-0445-8>
10. Mallawaarachchi H, Karunasena G, Sandanayake Y, Liu C. Conceptualising a Model to Assess the Optimum Water Flow of Industrial Symbiosis (IS) // *Sustainability*. 2023. № 15 (11). P. 8627. <https://doi.org/10.3390/su15118627>
11. Белых А.Л. Модели формирования промышленного симбиоза // *Управление*. 2023. Т. 11. № 1. С. 51 – 63. DOI: 10.26425/2309-3633-2023-11-1-51-63
12. Паспорт отраслевой программы "Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов в промышленном производстве" (утв. Правительством РФ 17 ноября 2022 г. № 13493п-П11). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405781899/>
13. Davis C., Aid G. Machine learning-assisted industrial symbiosis: Testing the ability of word vectors to estimate similarity for material substitutions // *J Ind Ecol.* 2022. № 26. P. 27 – 43. <https://doi.org/10.1111/jiec.13245>
14. Gatzoura A, Sánchez-Marrè M, Gibert K. A Hybrid Recommender System to Improve Circular Economy in Industrial Symbiotic Networks // *Energies*. 2019; 12(18):3546. <https://doi.org/10.3390/en12183546>
15. Chatzidimitriou T., Gentimis T., Michalopoulos C., Kokossis A. et al. Intelligent Management Platform for Material Exchange Optimization and Industrial Symbiosis // *Computer Aided Chemical Engineering*. 2021. P. 761. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88506-5.50119-4>
16. Zhu Q., Hu S. Improved interactive inference approach for constructing a complex multi-industrial symbiosis network // *Environ Sci Pollut Res* 28, 55401-55418 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14416-1>
17. ГК РФ Статья 50. Коммерческие и некоммерческие организации // "Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая)" от 30.11.1994 N 51-ФЗ (ред. от 11.03.2024). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/3a585d0351c74adc4c9878b6019d704cdd9d3699/
18. Федеральный закон от 12.01.1996 N 7-ФЗ (ред. от 26.02.2024) "О некоммерческих организациях". URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8824/87a16eb8a9431fff64d0d78eb84f86accc003448/
19. Синенко О.А. Регулирование экологических аспектов в особых экономических зонах // *Известия ДВФУ. Экономика и управление*. 2018. № 2. С. 128 – 136. DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2018-2/128-136>
20. Aiwen W., Research on University-Industry Cooperation of Vocational Colleges under the Background of Artificial Intelligence // 2022 2nd International Conference on Big Data Engineering and Education (BDEE), Chengdu, China, 2022. P. 228 – 232. doi: 10.1109/BDEE55929.2022.00046.
21. Chertow M., Lombardi D Rachel Quantifying Economic and Environmental Benefits of Co-Located Firms // *Environmental Science & Technology*. 2005. Vol. 39. № 17. P. 6535 – 6541.
22. Шадрина Е.В., Кашин Д.В. Циркулярные закупки в России. Данные исследования закупок 2019 г. // Госзаказ: управление, размещение, обеспечение. 2020/21. № 62. С. 50 – 57.

References

1. Aurora M.P. Ecological economics and environmental economics: genesis, relationship and problems. II Creativity of young scientists. 2017. No. 1-3. P. 161 – 166.
2. Druzhinina A.R., Kanunnikova K.I., Golubeva A.S., Volkov A.R., Pavlova E.A. Responsible consumption and production in the system of sustainable development goals: an integrated approach in the waste disposal system. *Economy, entrepreneurship and law*. 2021. Vol. 11. No. 11. P. 2471 – 2484
3. Budrin A., Soldatova A., Vorobeva A., Korytova V. Responsible consumption in the context of ESG transformation of the economy. *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 531. P. 05029. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453105029>
4. Golubeva A.S., Pavlova E.A., Volkov A. Perspectives on Energy Security in the Russian Federation: A Comparative Analysis of Renewable Energy Sources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 990. No. 1. P. 012021
5. Ashton W.S., Chertow M.R., Althaf S. Industrial Symbiosis: Novel Supply Networks for the Circular Economy. *Circular Economy Supply Chains: From Chains to Systems*, Emerald Publishing Limited, Leeds. 2022. P. 29 – 48. <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-544-620221002>
6. Vahidzadeh R., Bertanza G., Sbaffoni S., Vaccari M. Regional industrial symbiosis: A review based on social network analysis. *Journal of Cleaner Production*. 2020. P. 124054. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124054>

7. Mortensen L., Kørnøv L. Critical factors for industrial symbiosis emergence process. *Journal of Cleaner Production*. 2019. No. 212. P. 56 – 69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.222>
8. Haq H., Välisuo P., Niemi S. Modeling Sustainable Industrial Symbiosis. *Energies*. 2021. No. 14. P. 1172. <https://doi.org/10.3390/en14041172> <https://doi.org/10.3390/en14041172>
9. Zhang Y., Zheng H., Chen B. et al. A review of industrial symbiosis research: theory and methodology. *Front. Earth Sci.* 2015. No. 9. P. 91 – 104. <https://doi.org/10.1007/s11707-014-0445-8>
10. Mallawaarachchi H, Karunasena G, Sandanayake Y, Liu C. Conceptualising a Model to Assess the Optimum Water Flow of Industrial Symbiosis (IS). *Sustainability*. 2023. No. 15 (11). P. 8627. <https://doi.org/10.3390/su15118627>
11. Belykh A.L. Models of Industrial Symbiosis Formation. *Management*. 2023. Vol. 11. No. 1. P. 51 – 63. DOI: 10.26425/2309-3633-2023-11-1-51-63
12. Passport of the industry program "Use of secondary resources and secondary raw materials from waste in industrial production" (approved by the Government of the Russian Federation on November 17, 2022, No. 13493p-P11). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405781899>
13. Davis C., Aid G. Machine learning-assisted industrial symbiosis: Testing the ability of word vectors to estimate similarity for material substitutions. *J Ind Ecol.* 2022. No. 26. P. 27 – 43. <https://doi.org/10.1111/jiec.13245>
14. Gatziora A, Sàncchez-Marrè M, Gibert K. A Hybrid Recommender System to Improve Circular Economy in Industrial Symbiotic Networks. *Energies*. 2019; 12(18):3546. <https://doi.org/10.3390/en12183546>
15. Chatzidimitriou T., Gentimis T., Michalopoulos C., Kokossis A. et al. Intelligent Management Platform for Material Exchange Optimization and Industrial Symbiosis. *Computer Aided Chemical Engineering*. 2021. P. 761. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88506-5.50119-4>
16. Zhu Q., Hu S. Improved interactive inference approach for constructing a complex multi-industrial symbiosis network. *Environ Sci Pollut Res* 28, 55401-55418 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14416-1>
17. Civil Code of the Russian Federation Article 50. Commercial and non-commercial organizations. "Civil Code of the Russian Federation (Part One)" dated November 30, 1994 N 51-FZ (as amended on March 11, 2024). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/3a585d0351c74adc4c9878b6019d704cdd9d3699/
18. Federal Law of 12.01.1996 N 7-FZ (as amended on 26.02.2024) "On Non-Commercial Organizations". URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8824/87a16eb8a9431fff64d0d78eb84f86accc003448/
19. Sinenko O.A. Regulation of environmental aspects in special economic zones. *FEFU News. Economics and Management*. 2018. No 2. P. 128 – 136. DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2018-2/128-136>
20. Aiwen W., Research on University-Industry Cooperation of Vocational Colleges under the Background of Artificial Intelligence. 2022 2nd International Conference on Big Data Engineering and Education (BDEE), Chengdu, China, 2022. P. 228 – 232. doi: 10.1109/BDEE55929.2022.00046.
21. Chertow M., Lombardi D Rachel Quantifying Economic and Environmental Benefits of Co-Located Firms. *Environmental Science & Technology*. 2005. Vol. 39. No. 17. P. 6535 – 6541.
22. Shadrina E.V., Kashin D.V. Circular procurement in Russia. Data from the 2019 procurement study. State procurement: management, placement, provision. 2020/21. No. 62. P. 50 – 57.

Информация об авторах

Миронова Д.Ю., кандидат экономических наук, доцент, Образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы», директор Центра проектной деятельности и коммерциализации, Университет ИТМО, Dy.mironova@itmo.ru

Павлова Е.А., кандидат экономических наук, доцент, Университет ИТМО, eapavlova@itmo.ru

Корытова В.Е., аспирант, Университет ИТМО, ve_korytova@itmo.ru

Будрин А.Г., доктор экономических наук, профессор, Университет ИТМО, agbudrin@itmo.ru

© Миронова Д.Ю., Павлова Е.А., Корытова В.Е., Будрин А.Г., 2025