

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 330.31

DOI: 10.26730/2587-5574-2022-4-57-69

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ИНДУСТРИИ 4.0

Михайлов В.Г.¹, Жиронкин В.С.²

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет



Информация о статье

Поступила:

11 Ноября 2022 г.

Одобрена после рецензирования:

25 Ноября 2022 г.

Принята к публикации:

05 Декабря 2022 г.

Ключевые слова: рециклинг, рециркуляционная экономика, Индустрия 4.0, государственно-частное партнерство, регулирование.

Аннотация.

Переход к промышленности, реализующий замкнутый цикл производства (рециклинг ресурсов), востребован не только в связи с нарастанием экологических проблем индустриальной экономики, но и с перспективой диффузии технологий Индустрии 4.0. Возможности, с одной стороны, вовлечения вторичного сырья в производство для снижения материальных затрат и операционных издержек, с другой – использования потенциала информационных технологий раскрываются в системе взаимодействия государства, науки и производства, а также всего общества, называемой «третичная», «четвертичная» и «пятеричная» спирали инновационного развития. Важность анализа технологической платформы рециркуляционной экономики и форм ее регулирования связана с поиском эффективных инструментов трансформации экономики в русле устойчивого развития. Гипотеза исследования может быть выражена таким образом: переход к рециркуляционной экономике есть объективная предпосылка выхода на новый этап развития в ходе Четвертой промышленной революции, поскольку производственные возможности сегодня значительно опережают возможности природы обеспечивать человека ресурсами и утилизировать отходы. Вместе с тем действующие бизнес-модели не ориентированы на рециклинг ресурсов, так как все ресурсные затраты сполна учитываются при ценообразовании. В связи с этим в статье предложены формы регулирования рециркуляционной экономики в условиях перехода к Индустрии 4.0.

Для цитирования: Михайлов В.Г., Жиронкин В.С. Развитие технологий рециркуляционной экономики в условиях перехода к Индустрии 4.0 // Экономика и управление инновациями. 2022. № 4 (23). С. 57-69. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-4-57-69

DEVELOPMENT OF RECYCLING ECONOMY TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF TRANSITION TO INDUSTRY 4.0

Vladimir G. Mikhailov¹, Vitaly S. Zhironkin²

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² National Research Tomsk Polytechnic University



Article info

Submitted:

11 November 2022

Approved after reviewing:

25 November 2022

Abstract.

The transition to an industry that implements a closed production cycle (resource recycling) is in demand due not only to the growing environmental problems of the industrial economy, but also due to the prospect of diffusion of Industry 4.0 technologies. Opportunities, on the one hand, to involve secondary raw materials in production to reduce material costs and operating costs, on the other hand, to use the potential of information technology, are revealed in the system of interaction between the state, science and production, as well as the entire society, called "Triple", "Quadruple" and "Penta" Helix of innovative development. The importance of

Accepted for publication:
05 December 2022

Keywords:
recycling, recycling economy, Industry 4.0, public-private partnership, regulation.

analyzing the technological platform of the recycling economy and the forms of its regulation is associated with the search for effective tools for transforming the economy in line with sustainable development. The research hypothesis can be expressed as follows: the transition to a recycling economy is an objective prerequisite for entering a new stage of development during the Fourth Industrial Revolution, since production capabilities today are far ahead of nature's ability to provide a person with resources and dispose of waste. At the same time, the current business models are not focused on resource recycling, since all resource costs are fully taken into account when pricing. In this regard, the article proposes forms of regulation of the recycling economy in the context of the transition to Industry 4.0.

For citation: Mikhailov V.G., Zhironkin V.S. *Development of recycling economy technologies in the context of transition to Industry 4.0. Economics and Innovation Management, 2022, no. 4 (23), pp. 57-69. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-4-57-69*

1 Introduction / Введение

Использование ограниченных ресурсов и чрезмерное производство благ конечного потребления, низкий уровень переработки и повторного использования отходов, а также устойчивый тренд роста числа потребителей и объемов потребления в мире приводят к тому, что современная экономика вступила в противоречие с окружающей средой. Сохранение прежних темпов использования и потребления природных ресурсов в глобальном масштабе для поддержания жизнедеятельности человечества к 2025 г. потребует полторы планеты Земля, а в перспективе выхода развивающихся стран на европейский и североамериканский уровень потребления к 2050 г. – четыре планеты Земля [1].

Сохранение тренда линейного развития экономики промышленно развитых стран вызывает неблагоприятные последствия для экологической сферы, которые ставят под сомнение глобальную ценность экономического роста. До сих пор не решен вопрос, какие бизнес-модели рециркуляционной экономики должны внедряться компаниями, с тем чтобы получить экономические и экологические преимущества от развития глобальных цепочек поставок. Это актуализирует исследования рециркуляционной экономики на методологическом и теоретическом уровнях в соединении с самым передовым трендом технологического развития – Индустрией 4.0.

2 Materials and Methods / Материалы и методы

Генезис рециркуляционной экономики связан с ранними дискуссиями, вызванными работами Т. Мальтуса [2] и Г. Джорджа [3] в XIX в., которые пролили свет на вопросы дефицита ресурсов в экономике во взаимосвязи с циклами роста и депрессии. В XX в. дискуссия о сокращении и исчерпании ресурсного потенциала окружающей среды и вызываемых ими социально-экономическими катаклизмами приняла форму дебатов между футуристами – сторонниками неразрывного априорного прогресса и сторонниками «рокового будущего» [4], которые рассматривали влияние экономического роста на окружающую среду. По мнению сторонников «рокового будущего», нехватка ресурсов и биофизические ограничения пошатнут экономическому росту в 21-м в., о чем свидетельствует публикация доклада Римского клуба «Пределы роста» в 1972 году [5]. С другой стороны, футуристы утверждали, что экологические ограничения могут быть преодолены с помощью технического прогресса и человеческой изобретательности.

Определение рециркуляционной экономики и ее отделение от линейной экономики было дано во второй половине 20 в. в работах К. Боулдинга («экономика космического корабля Земля») [6] и У. Стахела и Ж. Редей-Мулвей («экономика замкнутого цикла») [7]. Методология рециркуляционной экономики развивалась в XX в. в разрезе двух новых тенденций: системное мышление и социальный метаболизм. Первая опирается на труды Л. фон Берталанфи, развивавшего системную перспективу взаимодействия общества и природы [8]. Позже возникла концепция индустриального симбиоза Г.Т. Одума, опирающегося на взаимодействие между экономикой и экологией как частями единой системы [9]. В свою очередь, концепция социального метаболизма отписывает экономику как крупный организм, который получает от природы ресурсы и сбрасывает в нее отходы [10].

Интеграция концепций системного понимания экономико-экологических проблем и социального метаболизма применительно к методологии рециркуляционной экономики имела место

в конце 20 в. в работах М. Браунгарта и Б. МакДонаха («от колыбели к колыбели») [11], Р. Клифта (промышленная экология, «закольцовывающая» отходы и ресурсы) [12], В.С. Минчиковой, Е.В. Оглоблиной («синяя экономика», в которой производства замкнутого цикла являются логичным продолжением инновационного развития) [13]. Вклад в методологию рециркуляционной экономики был сделан такими авторами, как Ж.Е. Темиргалиев [14], Б.Г. Ивановский [15].

Опираясь на представленную методологию, рециркуляционную экономику можно определить как систему экономических отношений, связанных с созданием и реализацией стоимости продуктов, ценность которых сохраняется в течение длительного времени, а затем возвращается в процессе восстановления или повторного использования. В такой экономике новые продукты и активы разрабатываются и производятся таким образом, чтобы снизить потребление природных ресурсов и сброс в нее отходов. Для этого применяются новые бизнес-модели и стратегии, которые оптимизируют использование производственных мощностей и продлевают срок использования продуктов. В свою очередь, производственные циклы и жизненные циклы продуктов замыкаются за счет повторного вовлечения материальных компонентов в производство.



Рис. 1. Принципы рециркуляционной экономики и их реализация

Fig. 1. Principles of the circular economy and their implementation

Проблемная основа перехода от линейной экономики к рециркуляционной связана с инерцией проблемы роста вовлекаемых в производство природных ресурсов и, соответственно, увеличения поступления отходов в окружающую среду. Согласно исследованиям ОЭСР и ООН, если в 1970 году в глобальную систему производства поступило 22 млрд т сырья, то в 2010 г. – 70 млрд т, в 2017 г. – 90 млрд т. К 2050 г. ожидаемый объем используемого сырья прогнозируется на уровне 180 млрд т. По оценке Исследовательского института устойчивого развития Европы

(SERI), в 2017 г. более 21 млрд т материалов, которые использовались в промышленности стран ОЭСР, не были интегрированы в сами продукты и представляют собой «излишние» отходы [16]. Отчет Евросоюза о потоках материалов показывает, что уровень возвратного использования отходов в Европе составляет 12%, что означает, что только 0,88 млрд т из 7,5 млрд т ежегодно используемых ресурсов было переработано. Вследствие этого теряется до 95% материальной и энергетической ценности произведенных продуктов [17].

Решение проблем перехода к рециркуляционной экономике требует прежде всего должного теоретического обоснования. В частности, к числу принципов рециркуляционной экономики, симбиотичных для традиционных промышленных и новейших информационных технологий, относятся нижеследующие (Рис. 1).

Для реализации принципов перехода от линейной к рециркуляционной экономике, представленных на Рис. 1, требуется формирование ее инновационной экосистемы [18]. Проблема адаптации действующих инновационных экосистем к потребностям рециркуляционной экономики является предметом широких дискуссий. Инновации – это не линейный, а системный процесс, который расширяет свое влияние на экономику в рамках сети межорганизационных отношений [19], поощряющих взаимодействия и интеграцию различных процессов, в том числе накопления и применения знаний [20]. Управление сетью участников инновационной экосистемы, применение норм и правил стали обязательным для возврата вторичных ресурсов в производство, это происходит в системе ESG-инвестирования [21].

Инновационные экосистемы рециркуляционной экономики образуют национальную и глобальную инфраструктуру, поддерживающую создание сетей сотрудничества между множеством заинтересованных сторон путем создания и расширения потоков знаний [22]. Входящие и исходящие. Такие потоки знаний превращают разрозненные технологии и ноу-хау в устойчивые контексты для ускорения процесса перехода к замкнутому использованию ресурсов (рециклинг).

На концептуальном уровне генезис современных инновационных экосистем раскрывается в системах «третичной», «четвертичной» и «пятеричной спирали», объединяющих компаний-производителей, университетов и исследовательских организаций, государства, потребителей, общества в целом. Концепция «третичной спирали» гласит, что для поддержки технологий рециркуляционной экономики требуются прочные связи между промышленностью, государством и университетами для объединения их компетенций с целью ускоренной разработки, массового внедрения технологий рециркуляционной экономики, привлечения масштабных инвестиций [23].

Широкое обсуждение проблем рециркуляционной экономики достигается в рамках «четвертичной» и «пятеричной спирали» инновационного развития. Наряду с правительствами, академическими кругами и отраслями такие экосистемы включают в себя общественность – носитель культуры взаимодействия с окружающей средой [24]. В инновационной экосистеме «пятеричной спирали» университеты и исследовательские центры, фирмы бизнеса, государственные учреждения вовлекаются в обмен знаниями и опытом с потребителями на всех этапах инновационного процесса.

Передовые цифровые платформы расширили возможности создания стоимости в инновационных экосистемах, ускорив процессы создания, передачи и распространения знаний. Воздействие продвинутых инновационных экосистем на переход от линейной к рециркуляционной экономике способно оказать позитивное влияние на внедрение технологий Индустрии 4.0 в рециклинг.

3 Results and Discussion / Результаты и обсуждение

Индустрия 4.0 – результат диффузии технологий Четвертой промышленной революции в сфере материального производства – формируется за счет интеграции производственных систем и информационно-коммуникационных технологий, порождая киберфизические системы [25]. Экспансия Индустрии 4.0 ставит своей целью достижение более высокого уровня операционной эффективности и производительности за счет роста автоматизации. Термин «Индустрия 4.0», будучи впервые использованным в Германии в рамках национальной инициативы «План действий по стратегии высоких технологий до 2020 года» [26], получил широкое распространение в большинстве промышленно развитых стран [27].

Применительно к рециркуляционной экономике развитие Индустрии 4.0 связано с радикальным изменением подхода к планированию цикла производства и жизненного цикла продукта. Когда концепция жизненного цикла продукта применяется к технологической революции, рождается жизненный цикл технологии [28].

Цифровизация движения материальных ресурсов в процессе производства и потребления как драйвер рециркуляционной экономики основана на пяти эффектах диффузии информационных технологий:

- межмашинные коммуникации и мультиагентность (Интернет вещей);
- автоматизация ввода и анализа данных («умные» сенсоры и машинное видение);
- ускоренный обмен информацией между фирмами (облачные вычисления и цифровые двойники);
- интеграция процессов производства, потребления благ и ресурсного снабжения («умные» цепочки поставок);
- межотраслевой обмен технологиями (технологическая конвергенция).

В результате действия данных эффектов в рециркуляционной экономике формируется горизонтальная, вертикальная и сквозная цифровая интеграция ее субъектов (в линейной экономике такая интеграция носит характер контроля над собственностью, финансами или логистикой). Вследствие этого рециркуляционная экономика, основанная на цифровых технологиях, априори более гибкая, чем линейная, и дает производителям несравнимо большие выгоды замыкания цепочек движения ресурсов.

В целом под цифровыми технологиями – основной платформой Индустрии 4.0 – понимается большой комплекс вычислительных алгоритмов, инженерных решений и коммуникационных связей, касающихся создания и практического использования компьютеризированных и облачных устройств, методов и систем, позволяющих передавать огромные объемы информации и создавать цифровые сети между организациями, отдельными лицами, а также техническими устройствами [29]. Использование искусственного интеллекта при планировании движения ресурсов предприятия способно обеспечить полный контроль над качеством, количеством и стоимостью материалов, которые участвуют в процессах замкнутого цикла производства.

Цифровые технологии Индустрии 4.0 также способны объединить разнородных субъектов движения материальных ресурсов таким образом, чтобы новая стоимость, создаваемая в каждом последующем жизненном цикле товара при его замкнутом производстве, была выше предыдущей. Тем самым рост добавленной стоимости в рециркуляционной экономике способен генерировать темпы роста не ниже, чем в линейной. Цифровизация процессов сбора и повторного использования материалов призвана активизировать взаимодействие и устойчивый обмен данными между различными поставщиками ресурсов, производителями продукта, потребителями и сборщиками отходов, в результате чего издержки обмена вторичным сырьем значительно снизятся. Между тем в настоящее время расширение процесса вовлечения отходов в производство сдерживается отсутствием прозрачности обмена данными между производителями и потребителями [30]. Базовые цифровые технологии, такие как онлайн-платформы и облачные решения, особенно полезны в качестве цифровой основы глобального рынка вторичного сырья. Его цифровизация должна обеспечить эффективную связь и обмен данными между соответствующими сторонами, заинтересованными в повторном использовании промышленных отходов, замыкая цепочки движения ресурсов.

Из вышесказанного можно сделать однозначный вывод о важности цифрового наполнения экосистемы рециркуляционной экономики. Достигнутый к настоящему моменту уровень промышленных технологий в большинстве стран мира достаточен для полномасштабного использования отходов в качестве сырья в замкнутых производственных циклах. Вместе с тем именно рыночные ограничения, связанные с точной информацией о наличии различных материальных компонентов в отходах, о потоках движения ресурсов от продукта до отходов, а также о затратах на вовлечение отходов в производство, являются одним из главных препятствий развития рециркуляционной экономики. Следовательно, сегодня переход от линейной к рециркуляционной экономике во многом связан с развитием ее технологической платформы, важную роль в которой играет Индустрия 4.0.

Цифровая технологическая платформа рециркуляционной экономики представляет собой набор инструментов стимулирования промышленного распространения замкнутых цепочек производства и потребления. Моделью инновационной экосистемы таких инновационных технологий является «пятеричная спираль» – ответ общества на глобальный масштаб проблемы устойчивого развития и достижения предела нагрузки на окружающую среду. Экономическая основа технологической платформы рециркуляционной экономики образована бизнес-моделями, при помощи которых внедрение информационных технологий и способов замкнутого и многоциклического производства может быть осуществлено в кратчайшие сроки.

Цифровую составляющую технологической платформы рециркуляционной экономики составляют следующие виды технологий Четвертой промышленной революции:

1. Информационно-коммуникационные технологии и связанные с ними технологии обеспечения дешевой энергией из возобновляемых источников. Использование информационно-коммуникационных технологий невозможно без надлежащей инфраструктуры электросвязи. Кроме того, энергоэффективная связь может привести к значительным сокращениям операционных издержек. Это воплощается в новых протоколах цифровой связи и методах передачи данных, которые являются более емкими, экологичными и энергоэффективными и, следовательно, больше подходят для рециркуляционной экономики.

Мобильные технологии передачи данных 5-го и 6-го поколений (5G и 6G) используются в качестве ключевых блоков для интеграции отдельных производств в единые замкнутые цепочки производства. Требования к надежности и пропускной способности коммуникационных сетей в экономике с замкнутыми производственными циклами гораздо выше, чем в линейной экономике, поскольку отсутствие больших запасов ресурсов и готового продукта заставляет более точно планировать ресурсооборот. Так, положительный опыт Германии позволяет судить об эффективности своевременного получения и интеграции в единую информационную систему данных о загрязнениях водных источников, что позволяет значительно сократить их объемы [31].

2. Вычислительные технологии различного типа, такие как облачные, периферийные и распределенные вычисления. Облачные вычисления представляют собой модель обеспечения быстрого доступа к общему пулу конфигурируемых вычислительных ресурсов, которыми можно управлять динамически. Использование облачных вычислений в рециркуляционной экономике представляет собой новую бизнес-модель, охватывающую все компоненты замкнутой производственной цепочки, в которой производственные ресурсы и возможности интегрированы и оптимизированы в глобальном масштабе. Это, в свою очередь, дает возможность устойчивого управления переработкой отходов. Более того, возможности дематериализации, предлагаемые облачными вычислениями, могут лежать в основе концепций рециркуляционной экономики. Например, дематериализованное проектирование производства и маркетинга в форме облачных потоковых сервисов может привести к значительной экономии ресурсов (сегодня затраты на маркетинг продукции крупнейших производителей достигают 25-30% от ее полной себестоимости) [32].

3. Киберфизические системы, которые представляют собой интеграцию вычислений с физическими носителями. В середине 2010-х гг. была разработана концепция промышленного производства нового поколения Green Sensing Virtual Enterprises, основная идея которой заключается в динамическом создании сети из компьютерных систем предприятий с замкнутыми цепочками производства и возобновляемыми производственными циклами [33]. Эта сеть периодически возникает в виде краткосрочного альянса между предприятиями на основе Интернета вещей, беспроводных сенсорных сетей, соединяющих отдельные виды оборудования и технологические процессы разных фирм. Таким путем достигается более эффективное управление ресурсами за счет их гибкого перераспределения между близко расположенными компаниями, попеременно обменивающимися отходами производства для использования их в качестве вторичного сырья.

Аддитивное производство (3D-печать) – это особый тип киберфизических систем, который обеспечивает широкий спектр производств в рециркуляционной экономике. В рамках аддитивного производства имеет место объединение нескольких жизненных циклов продукта в один, сокращение ресурсоемкости производства за счет глубокой персонализации готового продукта, усложнения его форм и потребительских свойств, а также расширения возможностей местных малых фирм посредством распределенного производства.

С понятием киберфизических систем тесно связана технология т.н. «цифровых двойников», которая включает создание виртуальных моделей физических объектов в цифровом мире для имитации их поведения. Их роль в рециркуляционной экономике связана с доказательством возможности прибыльного использования замкнутых производственных цепочек путем объединения цифрового двойника и виртуальной реальности для тестирования конфигурации предприятия с помощью цифрового моделирования.

4. Искусственный интеллект – одна из ключевых движущих сил Индустрии 4.0. Разработки в области искусственного интеллекта привели к появлению мощных алгоритмов анализа больших данных, заменяющих человека в производстве, медицине, бизнесе, образовании, авиаперевозках и пр. [34] Применение искусственного интеллекта дает соразмерные преимущества для экономики, в которой промышленность организована в виде замкнутых циклов. В частности, перспективной научной основой технологий искусственного интеллекта является «нечеткая логика» (Fuzzy Logic) – инструмент моделирования неопределенности, использующий естественный язык для последовательного представления и обработки частично достоверных данных в приложениях [35]. Алгоритмы нечеткой логики сегодня используются для анализа сельскохозяйственной пригодности земли, моделирования устойчивого развития городов, точного прогнозирования получения и распределения производственных отходов.

Другое направление развития искусственного интеллекта – машинное обучение – представляет собой компьютерные методы и алгоритмы, которые можно адаптировать и улучшать по мере получения роботами данных о своем функционировании (машинного опыта). Применительно к рециркуляционной экономике машинное обучение дает новые возможности для развития мониторинга водных ресурсов, потребления энергоносителей и управления отходами, оптимизации потребления сырья предприятиями. Это позволяет принимать оптимальные решения по замыканию и при необходимости размыканию производственных циклов.



Рис. 2. Направления развития бизнес-моделей рециркуляционной экономики
 Fig. 2. Directions for the development of the recycling economy business models

5. Интернет вещей – межмашинное и межпредметное взаимодействие в физическом мире, включающее маркировку активов (RFID), цифровое моделирование зданий и оборудования, спутниковую съемку и геоинформационные системы.

Среди наиболее широко используемых технологий сбора данных распространены смарт-теги – небольшие устройства, сочетающие в себе возможности памяти, обработки данных и связи [36]. Они бывают разных форм и размеров и могут использоваться для различных целей (например, идентификация объектов или животных, производство, безопасность персонала, транспортировка товаров), связанных с анализом условий окружающей среды, в которых потребляется, утилизируется или перерабатывается продукт, и его воздействия на среду. В результате использования смарт-тегов возможно существенно повысить полноту и скорость возврата использованных продуктов в производство в качестве ресурса.

б. Программное обеспечение цифрового моделирования замкнутых технологических процессов в рециркуляционной экономике. Использование виртуальных моделей на цифровых платформах призвано сыграть важную роль в развитии рециркуляционной экономики в контексте индустриального симбиоза. Одним из преимуществ таких цифровых платформ является то, что они облегчают обмен побочными продуктами между предприятиями, а также синергию использования первичных и вторичных ресурсов в производстве, в результате чего добавленная стоимость должна выйти на более высокий уровень. В настоящее время разрабатываются мобильные приложения, используемые для управления жизненным циклом потребительских товаров – автомобилей, бытовой техники и персональных компьютеров, смартфонов, одежды, которые можно покупать и продавать в режиме реального времени на любой стадии эксплуатации либо целенаправленно утилизировать как вторичное сырье.

В целом можно выделить пять направлений развития бизнес-моделей рециркуляционной экономики: возобновляемые поставки, восстановление ресурсов, продление срока службы продукта, совместное использование продуктов, конвертация продукта в услугу (Рис. 2) [37].

Следует отметить, что переход от линейной к рециркуляционной экономике требует не только развития инновационной экосистемы уровня Индустрии 4.0 и глобального расширения цифровой технологической платформы, но и соответствующего государственного регулирования. Потребность в нем обусловлена наличием барьеров, стоящих перед рециркуляционной экономикой, общих для технологически передовых и догоняющих стран (Рис. 3).



Рис. 3. Барьеры развития рециркуляционной экономики
Fig. 3. Barriers to the development of the recycling economy

Объективная сущность данных барьеров приводит к тому, что идеальная рециркуляционная экономика невозможна, так как менее 100% ресурсов могут быть повторно воссозданы за счет циклов переработки. Следовательно, невозможно достичь нулевых отходов, полного извлечения ресурсов или нулевых выбросов. Очевидно, что сегодня недостаточно сосредоточиться на замы-

кании циклов производства и снабжения ресурсами; необходимо также учитывать масштаб экономики, перестроить модели производства, потребления и инвестирования, поскольку переход к рециркуляционной экономике может помочь снизить ее производственные возможности. Однако, согласно сложившемуся мнению, если технические, экономические и социальные аспекты перехода к рециркуляционной экономике совпадают, глобальная экономика может увеличить долю замкнутых цепочек производства и потребления с 9% в 2017 г. до 27% в 2030 г. и 65% в 2050 г. [38]

Поскольку регулирование масштабов производства в современной экономике является прерогативой государства, ее императивом должно стать создание благоприятных экономических условий для поощрения замыкания производственных циклов и внедрения соответствующих бизнес-моделей предпринимательскими фирмами. К числу первоочередных мер государственного регулирования рециркуляционной экономики можно отнести следующие:

А) Государственно-частное партнерство как форма сотрудничества власти и бизнеса в промышленности, связанного с инвестиционным участием государства в развитии замкнутых циклов производства. Объектом инвестиций государства должна стать инфраструктура рециркуляционной экономики, обеспечивающая сортировку вторичного сырья при сборе промышленных и бытовых отходов, их транспортировку и передачу в повторное использование.

Б) Финансовые стимулы (налоговые льготы, субсидирование процентных ставок, промышленные субсидии). Их главной целью должно стать вовлечение малого бизнеса в кругооборот вторичных ресурсов, а также уравнивание расходов на вторичное использование отходов в замкнутых циклах производства.

В) Активизация трудоустройства в рециркуляционной экономике, в том числе за счет расширения государственного поощрения бизнеса при создании новых рабочих мест в рециклинге.

Г) Передача технологий от государства предпринимательским фирмам, в том числе связанных с извлечением редких и редкоземельных металлов из промышленных отходов, восстановлением высокоточного оборудования и деталей машин.

Д) Нормативно-правовая поддержка. В российской экономике ключевые нормативные акты в области поддержки промышленного предпринимательства, в частности Закон о промышленной политике [39], не отражают ценности рециркуляционной экономики. Поэтому необходимым видится разработка скоординированной правовой основы рециркуляционной экономики, в центре которой должен стоять предприниматель и экономические стимулы вовлечения бизнеса в замкнутый кругооборот ресурсов.

Е). Особые формы государственной поддержки производств замкнутого цикла в условиях пандемии COVID-19. Основываясь на опыте стран Европейского союза [40], целесообразным видится поддержка инициатив по развитию замкнутых циклов производства и потребления дезинфицирующих жидкостей для медицинских целей из отходов производства пивоваренных заводов, средств индивидуальной защиты из текстильных отходов, 3D-печати запасных частей аппаратов искусственной вентиляции легких.

4 Conclusion / Заключение

Таким образом, потребность в переходе от линейной к рециркуляционной экономике обусловлена объективным пределом возможностей окружающей среды по ресурсному обеспечению и хранению отходов промышленного производства, безвозвратной потерей стоимости ценных компонентов в отходах, получением потенциальной выгоды от их возвращения в производственный цикл. Вместе с тем замыкание производственных цепочек требует реализации иных бизнес-моделей, в которых продление жизненного цикла продуктов и их повторное использование будет выгодным не только для крупного, но и для среднего и малого бизнеса. Это требует, с одной стороны, формирования цифровой инновационной экосистемы и технологической платформы рециркуляционной экономики, с другой – становления эффективной системы ее государственного регулирования.

Список источников

1. Глобальные инициативы. WWF: Жизнь в пределах ресурсов одной планеты возможна. URL: <https://globalalternatives.wordpress.com/biocap-alternative/wwf-lpr-2014/> (последнее обращение: 03.11.2022).
2. Мальтус Т. Опыт о законе народонаселения. – Петрозаводск: Петроком, 1993. – 412 с.

3. Джордж Г. Избранные речи и статьи. – М.: Посредник, 1905. – 391 с.
4. Сергеева З. Х. Грозит ли гибель углеводородной цивилизации? Теоретические дискуссии «Бумстеров» и «Думстеров» // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – №22. – С. 290-298.
5. Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рандерс Й., Беренс В. Пределы роста. Доклад по проекту Римского клуба «Проблемы человечества». 1972. – М.: МГУ, 1991. – 146 с.
6. Боулдинг К. Экономика будущего космического корабля Земля // Новые идеи в географии. Вып. 3. – М.: Прогресс, 1977. – С. 13-38.
7. Stahel W., Reday-Mulvey G. Jobs for Tomorrow, the Potential for Substituting Manpower for Energy. – New York: Vantage Press, N.Y., 1981. – 211 p.
8. фон Берталанфи Л. Общая теория систем — обзор проблем и результатов // Системные исследования: Ежегодник. – М.: Наука, 1969. – С. 30-54.
9. Розенберг Г. С. Энергия, экология и экономика. К 40-летию выхода статьи и 90-летию со дня рождения Говарда Т. Одума. Перевод и комментарии // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2014. – №4. – С. 5-59.
10. Бабинцев В.П., Гайдукова Г.Н., Шаповал Ж.А. Развитие современной городской культуры в дискурсе концепции социально-экологического метаболизма // Вестник славянских культур. – 2021. – №60. – С. 30-41.
11. Браунгарт М., МакДонах У. От колыбели до колыбели. Меняем подход к тому, как мы создаем вещи. – М.: Ад Маригем, 2020. – 208 с.
12. Clift R., Druckman A. Taking Stock of Industrial Ecology. – Cham: Springer, 2016. – 306 p.
13. Миничова В.С., Оглоблина Е.В. Международная кооперация и региональные инициативы в области синей экономики // Общество: политика, экономика, право. – 2021. – № 11. – С. 36-45.
14. Темиргалиев Ж.Е. Цифровые технологии в переходе к модели циркуляционной экономики // Инновации и инвестиции. – 2018. – №10. – С. 60-62.
15. Ивановский Б.Г. Инновации и циркулярная экономика // Социальные и гуманитарные науки: Отечественная и зарубежная литература. Сер. 2, Экономика: Реферативный журнал. – 2020. – №4. – С. 71-74.
16. IRP. Assessing global resource use: A systems approach to resource efficiency and pollution reduction. – Amsterdam: NELP, 2017. – 98 p.
17. PGGM, KPMG, EBRD, WBCSD. Circle Economy-2018. Linear risks. URL: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/nl/pdf/2018/advisory/linear-risks.pdf> (последнее обращение: 03.11.2022).
18. Granstrand O., Holgersson M. Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition // Technovation. – 2020. – Vol. 1. – pp. 90-91.
19. Тронина И.А. Концепция управления интеграционными процессами в экономике с учетом нелинейной модели развития инноваций // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. – 2014. – № 4-1. – С. 19-31.
20. Кудина М.В., Кузьмин С.С. Интеграционная парадигма корпоративного роста: стратегии открытых инноваций // Государственное управление. Электронный вестник. – 2021. – №89. – С. 19-31.
21. Чернышова М.В. ESG и ответственное институциональное инвестирование // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2021. – №3. – С. 98-120.
22. Дудин М.Н., Иващенко Н.П. Развитие институтов «Выращивания» инновационных проектов в контексте становления венчурной экосистемы // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2016. – №3 (27). – С. 70-75.
23. Бондаренко Н.Е., Дубовик М.В., Губарев Р.В. "Тройная спираль" как основа создания инновационных систем // Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова. – 2018. – №2 (98). – С. 3-15.
24. Молчанов Н.Н., Молчанов А.Н. Технопарки – концепция «Четвертой спирали» // Инновации. – 2014. – №7 (189). – С. 39-46.
25. Николаев И.С., Воронов В.В., Шияев С.А. Роль человека в Индустрии 4.0 и ее перспективы // Sciences of Europe. – 2021. – №62-1. – С. 49-56.
26. Kagermann H. Change Through Digitization – Value Creation in the Age of Industry 4.0 // In: Management of Permanent Change / Eds.: H. Albach, H. Meffert, A. Pinkwart, R. Ralf, Eds. – Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015. – pp. 23-32.
27. Murray A., Skene K., Haynes K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context // Journal of Business Ethics. – 2017. – Vol. 140. – pp. 369-380.
28. Гумерова Г.И., Шаймиева Э.М. К вопросу о концепции жизненного цикла технологии // Инновации. – 2008. – №8. – С. 71-75.
29. Чехлар М., Жиронкин С.А., Жиронкина О.В. Цифровые технологии индустрии 4.0 в майнинге 4.0 – перспективы развития геотехнологии в XXI веке // Вестник КузГТУ. – 2020. – №3 (139). – С. 80-90.
30. Фролова М.К. Анализ предпосылок и проблем перехода России к циркулярной экономике // Контентус. – 2019. – №S11. – С. 330-338.
31. Mishra J.L., Chiwenga D., Ali K. Collaboration as an enabler for Circular Economy: A Case Study of a Developing Country // Management Decision. 2019. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/MD-10-2018-1111/full/html> (последнее обращение: 03.11.2022).
32. Fisher A., Pascucci S. Institutional incentives in circular economy transition: The case of material use in the Dutch textile industry // Journal of Clean Production. – 2017. – Vol. 155. – pp. 17-32.

33. Romero D., Noran O. Towards Green Sensing Virtual Enterprises: Interconnected Sensing Enterprises, Intelligent Assets and Smart Products in the Cyber-Physical Circular Economy // IFAC Papers. – 2017. – Vol. 50. – pp. 11719-11724.
34. Великая О.В. Цифровые технологии и инструменты как основа эффективности развития промышленности // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2022. – №2 (42). – С. 5-15.
35. Шалдаев О.О., Лукичева С.В. Перспективы применения нечеткой логики // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – №13. – С. 5-7.
36. Малинин А. Программное управление смарт-тегами. 2019. URL: <https://compress.ru/article.aspx?id=10100> (последнее обращение: 03.11.2022).
37. Accenture. Circular Advantage: Innovative Business Models and Technologies to create value in a world without limits to growth. 2014. URL: https://www.accenture.com/t20150523T053139__w_/usen/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Strategy_6/Accenture-Circular-Advantage-Innovative-Business-Models-Technologies-Value-Growth.pdf (последнее обращение: 03.11.2022).
38. Potocnik J., Gawel A. The world's economy is only 9% circular. We must be bolder about saving resources. World Economic Forum, 2019. URL: <https://europeansting.com/2019/11/11/the-worlds-economy-is-only-9-circular-we-must-be-bolder-about-saving-resources/> (последнее обращение: 03.11.2022).
39. Федеральный закон от 31 декабря 2014 г. N 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации».
40. Национальная ассоциация нефтегазового сервиса. Как в России разворачивают производства спиртовых антисептиков в условиях пандемии. 07.04.2020. URL: <https://nangs.org/news/business/kak-v-rossii-razvorachivayut-proizvodstva-spirovoyh-antiseptikov-v-usloviyah-pandemii> (последнее обращение: 03.11.2022).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2022 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы

Михайлов Владимир Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производственного менеджмента
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
650000 г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: mvg.eohp@kuzstu.ru

Жиронкин Виталий Сергеевич – студент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, проспект Ленина, 30
E-mail: v.zhironkin@inbox.ru

References

1. Global'nye iniciativy. WWF: Zhizn' v predelakh resursov odnoj planety vozmozhna [Global initiatives. WWF: Life within the resources of one planet is possible]. URL: <https://globalalternatives.wordpress.com/biocap-alternative/wwf-lpr-2014/> (last access: 03.11.2022).
2. Malthus T. Opyt o zakone narodonaselenija [An essay on the law of population]. Petrozavodsk: Petrokom, 1993. 412 p.
3. George G. Izbrannye rechi i stat'i [Selected speeches and articles]. Moscow: Posrednik = Mediator, 1905. 391 p.
4. Sergeeva Z. H. Grozit li gibel' uglevodorodnoj civilizacii? Teoreticheskie dis-kussii «Bumsterov» i «Dumsterov» [Is the death of the hydrocarbon civilization in danger? Theoretical discussions of "Boomsters" and "Doomsters"]. Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Kazan Technological University. 2011. Vol. 22. pp. 290-298.
5. Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Berens V. Predely rosta. Doklad po proektu Rimskogo kluba «Problemy chelovechestva». 1972 [Limits to growth. Report on the project of the Club of Rome "Problems of Humanity". 1972]. Moscow: MSU, 1991. 146 p.
6. Boulding, K. Jekonomika budushhego kosmicheskogo korablja Zemlja [Economics of the future spacecraft Earth]. Novye idei v geografii. Vyp. 3 = New ideas in geography. Issue. 3. Moscow: Progress, 1977. pp. 13-38.
7. Stahel W., Reday-Mulvey G. Jobs for Tomorrow, the Potential for Substituting Manpower for Energy. – New York: Vantage Press, N.Y., 1981. – 211 p.

8. von Bertalanffy L. Obshhaja teorija sistem — obzor problem i rezul'tatov // Sistemnye issledovanija: Ezhegodnik [von Bertalanffy L. General Systems Theory - A Review of Problems and Results. In: System Research: Yearbook]. Moscow: Nauka = Science, 1969. pp. 30-54.
9. Rozenberg G. S. Jenergija, jekologija i jekonomika. K 40-letiju vyhoda stat'i i 90-letiju so dnja rozhdenija Govarda T. Oduma. Perevod i komentarii [Energy, ecology and economy. To the 40th anniversary of the publication of the article and the 90th anniversary of the birth of Howard T. Odum. Translation and comments]. Samarskaja Luka: problemy regional'noj i global'noj jekologii = Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology. 2014. Vol. 4. pp. 5-59.
10. Babincev V.P., Gajdukova G.N., Shapoval Zh.A. Razvitie sovremennoj gorodskoj kul'tury v diskurse koncepcii social'no-jekologicheskogo metabolizma [The development of modern urban culture in the discourse of the concept of socio-ecological metabolism]. Vestnik slavjanskih kul'tur = Bulletin of Slavic Cultures. 2021. Vol. 60. pp. 30-41.
11. Braungart M., MakDonah W. Ot kolybeli do kolybeli. Menjaem podhod k tomu, kak my sozdaem veshhi [From cradle to cradle. Changing the way we create things]. M.: Ad Marigem, 2020. 208 p.
12. Clift R., Druckman A. Taking Stock of Industrial Ecology. Cham: Springer, 2016. 306 p.
13. Minchichova V.S., Ogloblina E.V. Mezhdunarodnaja kooperacija i regional'nye iniciativy v oblasti sinej jekonomiki [International cooperation and regional initiatives in the field of the blue economy]. Obshhestvo: politika, jekonomika, pravo = Society: politics, economics, law. 2021. Vol. 11. pp. 36-45.
14. Temirgaliev Zh.E. Cifrovye tehnologii v perehode k modeli cirkuljacionnoj jekonomiki [Digital Technologies in Transition to the Circular Economy Model]. Innovacii i investicii = Innovations and Investments. 2018. Vol. 10. pp. 60-62.
15. Ivanovskij B.G. Innovacii i cirkuljarnaja jekonomika [Innovations and circular economy //]. Social'nye i gumanitarnye nauki: Otechestvennaja i zarubezhnaja literatura. Ser. 2, Jekonomika: Referativnyj zhurnal = Social and humanitarian sciences: Domestic and foreign literature. Ser. 2, Economics: Abstract journal. 2020. Vol. 4. pp. 71-74.
16. IRP. Assessing global resource use: A systems approach to resource efficiency and pollution reduction. Amsterdam: NELP, 2017. 98 p.
17. PGGM, KPMG, EBRD, WBCSD. Circle Economy-2018. Linear risks. URL: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/nl/pdf/2018/advisory/linear-risks.pdf> (last access: 03.11.2022).
18. Granstrand O., Holgersson M. Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. Technovation. 2020. Vol. 1. pp. 90-91.
19. Tronina I.A. Koncepcija upravljenja integracionnymi processami v jekonomike s uchedom nelinejnoj modeli razvitija innovacij [The concept of management of integration processes in the economy, taking into account the non-linear model of innovation development]. Izvestija TulGU. Jekonomicheskie i juridicheskie nauki = TulSU Bulletin. Economic and legal sciences. 2014. Vol. 4-1. pp. 19-31.
20. Kudina M.V., Kuz'min S.S. Integracionnaja paradigma korporativnogo rosta: strategii otkrytyh innovacij [Integration Paradigm of Corporate Growth: Strategies of Open Innovations]. Gosudarstvennoe upravlenie. Jelektronnyj vestnik = Public Administration. Electronic messenger. 2021. Vol. 89. pp. 19-31.
21. Chernyshova M.V. ESG i otvetstvennoe institucional'noe investirovanie [ESG and responsible institutional investment]. Nauchnye trudy Vol'nogo jekonomicheskogo obshhestva Rossii = Proceedings of the Free Economic Society of Russia. 2021. Vol. 3. pp. 98-120.
22. Dudin M.N., Ivashhenko N.P. Razvitie institutov «Vyrashhivaniya» innovacionnyh proektov v kontekste stanovlenija venchurnoj jekosistemy [Development of institutions for "Growing" innovative projects in the context of the formation of a venture ecosystem]. MIR (Modernizacija. Innovacii. Razvitie) = MIR (Modernization. Innovations. Development. 2016. Vol. 3 (27). pp. 70-75.
23. Bondarenko N.E., Dubovik M.V., Gubarev R.V. "Trojnaja spiral'" kak osnova sozda-nija innovacionnyh sistem ["Triple helix" as a basis for creating innovative systems //]. Vestnik RJeU im. G.V. Plehanova = Bulletin of Plekhanov REU. 2018. Vol. 2 (98). pp. 3-15.
24. Molchanov N.N., Molchanov A.N. Tehnoparki – koncepcija «Chetvertoj spirali» [Technoparks - the concept of the "Fourth Spiral"]. Innovacii = Innovations. 2014. Vol. 7 (189). pp. 39-46.
25. Nikolaev I.S., Voronov V.V., Shiljaev S.A. Rol' cheloveka v Industrii 4.0 i ee perspektivy [The role of a person in Industry 4.0 and its prospects]. Sciences of Europe. 2021. Vol. 62-1. pp. 49-56.
26. Kagermann H. Change Through Digitization – Value Creation in the Age of Industry 4.0 / In: Management of Permanent Change / Eds.: H. Albach, H. Meffert, A. Pinkwart, R. Ralf, Eds. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015. pp. 23-32.
27. Murray A., Skene K., Haynes K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. Journal of Business Ethics. 2017. Vol. 140. pp. 369-380.

28. Gumerova G.I., Shajmieva Je.M. K voprosu o koncepcii zhiznennogo cikla tehnologii [To the question of the concept of technology life cycle]. *Innovacii = Innovations*. 2008. Vol. 8. pp. 71-75.
29. Chehlar M., Zhironkin S.A., Zhironkina O.V. Cifrovye tehnologii industrii 4.0 v majninge 4.0 – perspektivy razvitija geotekhnologii v XXI veke [Digital technologies of industry 4.0 in mining 4.0 – prospects for the development of geotechnology in the 21st century]. *Vestnik KuzGTU Bulletin of KuzSTU*. 2020. Vol. №3 (139). pp. 80-90.
30. Frolova M.K. Analiz predposylok i problem perehoda Rossii k cirkuljarnoj jekonomike [Analysis of the prerequisites and problems of Russia's transition to a circular economy]. *Contentus*. 2019. Analysis of the prerequisites and problems of Russia's transition to a circular economy // *Contentus*. Vol. S11. pp. 330-338.
31. Mishra J.L., Chiwenga D., Ali K. Collaboration as an enabler for Circular Economy: A Case Study of a Developing Country. *Management Decision*. 2019. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/MD-10-2018-1111/full/html> (last access: 03.11.2022).
32. Fisher A., Pascucci S. Institutional incentives in circular economy transition: The case of material use in the Dutch textile industry. *Journal of Clean Production*. 2017. Vol. 155. pp. 17-32.
33. Romero D., Noran O. Towards Green Sensing Virtual Enterprises: Interconnected Sensing Enterprises, Intelligent Assets and Smart Products in the Cyber-Physical Circular Economy. *IFAC Papers*. 2017. Vol. 50. pp. 11719-11724.
34. Velikaja O.V. Cifrovye tehnologii i instrumenty kak osnova jeffektivnosti razvitija promyshlennosti [Digital technologies and tools as a basis for the efficiency of industrial development]. *Modeli, sistemy, seti v jekonomike, tehnikе, prirode i obshhestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2022. Digital technologies and tools as a basis for the efficiency of industrial development // *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society* ol. 2 (42). pp. 5-15.
35. Shaldaev O.O., Lukicheva S.V. Perspektivy primenenija nechetkoj logiki [Prospects for the use of fuzzy logic]. *Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki = Actual problems of aviation and astronautics*. 2017. Vol. 13. pp. 5-7.
36. Malinin A. Programmnoe upravlenie smart-tegami [Software management of smart tags]. 2019. URL: <https://compress.ru/article.aspx?id=10100> (last access: 03.11.2022).
37. Accenture. Circular Advantage: Innovative Business Models and Technologies to create value in a world without limits to growth. 2014. URL: https://www.accenture.com/t20150523T053139_w_/usen/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Strategy_6/Accenture-Circular-Advantage-Innovative-Business-Models-Technologies-Value-Growth.pdf (last access: 03.11.2022).
38. Potocnik J., Gawel A. The world's economy is only 9% circular. We must be bolder about saving resources. *World Economic Forum*, 2019. URL: <https://europeansting.com/2019/11/11/the-worlds-economy-is-only-9-circular-we-must-be-bolder-about-saving-resources/> (last access: 03.11.2022).
39. Federal'nyj zakon ot 31 dekabrya 2014 g. N 488-FZ "O promyshlennoj politike v Rossijskoj Federacii [Federal Law of December 31, 2014 N 488-FZ "On Industrial Policy in the Russian Federation"].
40. Nacional'naja asociacija neftegazovogo servisa. Kak v Rossii razvorachivajut proizvodstva spirtovyh antiseptikov v uslovijah pandemii [National Oil and Gas Service Association. How Russia is expanding the production of alcohol antiseptics in a pandemic]. 07.04.2020. URL: <https://nangs.org/news/business/kak-v-rossii-razvorachivayut-proizvodstva-spirtovyh-antiseptikov-v-usloviyah-pandemii> (last access: 03.11.2022).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2022 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Authors

Vladimir Mikhailov – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Production Management
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000 Kemerovo, Vesennya st., 28
E-mail: mvg.eohp@kuzstu.ru

Vitaly S. Zhironkin – Student
National Research Tomsk Polytechnic University
634050 30 Lenina av., Tomsk, Russia
e-mail: v.zhironkin@inbox.ru

