

Научная статья

Original article

УДК 33

doi: 10.55186/2413046X_2022_7_8_491

**ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ
КОНЦЕПЦИЯ В ОБЛАСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ
CYCLIC ECONOMY AS A PROMISING CONCEPT IN THE FIELD OF WASTE
PROCESSING**



Полуэктгов Тимофей Юрьевич, аспирант, Институт государственной службы и управления, РАНХиГС, ORCID: 0000-0003-2668-575X, E-mail: kevduurant35@yandex.ru

Poluektov Timofey Yurievich, postgraduate student of the Institute of Public Administration and Management, ORCID: 0000-0003-2668-575X, E-mail: kevduurant35@yandex.ru

Аннотация. Экономика замкнутого цикла часто рассматривается как многообещающий способ решения насущных экологических проблем, таких как изменение климата, утрата биоразнообразия и истощение ресурсов. Однако оценка экономических последствий внедрения экономики замкнутого цикла имеет решающее значение для перехода от линейных к циклическим ресурсосберегающим производственным цепочкам.

В качестве альтернативы существующей модели потребления экономика замкнутого цикла явилась как средство снижения стоимости производства и потребления. Наряду со значительными экологическими преимуществами, глобальный переход к экономике замкнутого цикла создает возможности для бизнеса, которые приносят пользу экономике и увеличивают прибыль.

Экономическая составляющая экономики замкнутого цикла в последнее время вызывает значительный интерес со стороны ученых и практиков. Она представляет собой отход от экономики, которая характеризуется неустойчивым производством и чрезмерным потреблением ресурсов. Растущее число публикаций требует всестороннего анализа этой области. Это означает переосмысление моделей производства и потребления для радикального сокращения не перерабатываемых отходов.

В Российской Федерации экономика замкнутого цикла только начинает свое развитие, крупнейшие предприятия разрабатывают и внедряют стратегии развития в области бережливого и безотходного производства. Сам же процесс перехода к экономике замкнутого цикла требует серьезных мер и поддержки государственного уровня.

Целью данной статьи является рассмотрение экономики замкнутого цикла как новой парадигмы переработки отходов, а также научное обоснование и уточнение самой концепции экономики замкнутого цикла.

Abstract. The circular economy is often seen as a promising way to address pressing environmental issues such as climate change, biodiversity loss and resource depletion. However, assessing the economic impacts of introducing a circular economy is critical to the transition from linear to cyclical resource-saving production chains.

As an alternative to the current consumption model, the circular economy has emerged as a means of reducing the cost of production and consumption. Along with significant environmental benefits, the global transition to a circular economy creates business opportunities that benefit the economy and increase profits.

The economic component of the circular economy has recently attracted considerable interest from scientists and practitioners. It represents a departure from an economy characterized by unsustainable production and excessive consumption of resources. A growing number of publications require a comprehensive analysis of this area. This means rethinking production and consumption patterns to drastically reduce non-recyclable waste.

In the Russian Federation, the circular economy is just beginning to develop, the largest enterprises are developing and implementing development strategies in the field of lean and waste-free production. The very process of transition to a circular economy requires serious measures and support from the state level.

The purpose of this article is to consider the circular economy as a new paradigm of waste processing, as well as scientific justification and refinement of the very concept of the circular economy.

Ключевые слова: экономика замкнутого цикла, переработка отходов, исследования и разработки, бытовые отходы, цифровая трансформация, институциональная среда

Keywords: circular economy, waste recycling, research and development, household waste, digital transformation, institutional environment

Введение

Во всем мире наблюдается растущая тенденция к разработке проектов, позволяющих перейти от линейной экономики к деятельности, основанной на принципах экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ) [INE, 2015]. В рамках линейной экономики процессы основаны на использовании материалов только в одном направлении, где сырье, поступающее в процесс, используется для получения конечного продукта, образующиеся отходы утилизируются без дальнейшего использования.

Большинство промышленных предприятий во всем мире придерживаются концепции линейной экономики. Продукты, произведенные в промышленности, принимаются следуя модели потребления «использовал-утилизировал». Однако, путь повторного использования обладает потенциалом для значительной экономии средств по сравнению с переработкой, которая является энергоемким и затратным процессом [58]. Основными причинами, препятствующими циркулярности при обращении с отходами, являются экономические, социально-культурные и институциональные факторы [82].

Переход от традиционной экономической модели «бери-делай-распоряжайся» к экономике замкнутого цикла, которая является регенеративной по своей сути, изменит способ ведения экономической политики [23]. Как новый взгляд на

отношения между рынками, потребителями и природными ресурсами, это может привести к исчезновению целых отраслей [65].

Концепция экономики замкнутого цикла в последние годы привлекла внимание значительного числа представителей научных кругов [2, 7, 23, 25, 39]. Несмотря на то, что интенсивная индустриализация привела к росту мирового ВВП, переработка отходов по-прежнему считается «слепым пятном» в производстве. По этой причине ЭЗЦ пересматривает существующие методы обращения с пищевыми и другими видами отходов для создания новых рабочих мест и предприятий.

В начале статьи рассмотрены понятие и перспективы экономики замкнутого цикла, специфика НКО, которая может повлиять на него, и его связь с цифровизацией. Далее анализируются показатели эффективности внедрения ЭЗЦ и влияние цифровой трансформации на процессы, развивающиеся в контексте исследуемой темы. Делаются выводы на основе имеющейся теоретической базы исследования о перспективах дальнейших разработок в данной сфере.

1. Распространение концепции экономики замкнутого цикла

Экономика замкнутого цикла — это парадигма управления системами производства и потребления, позволяющая отказаться от линейных моделей производства [19]. Организации стремятся изменить способ управления техническими и биологическими циклами материалов, перейдя от линейных систем к циклическим системам производства и потребления, где выход одной производственной цепочки может быть входом в другую [73].

Однако, как и в случае с большинством продуктов и материалов в текущей линейной экономической модели, после извлечения продукта из упаковки последний выбрасывается как отход, а сам продукт утилизируется в конце срока его полезного использования [15].

Экономика замкнутого цикла включает в себя три основных вида деятельности: сокращение использования первичного сырья, повторное использование уже обработанных материалов и переработку отходов [41].

По своей сути концепция экономики замкнутого цикла имеет два основных взаимосвязанных аспекта, а именно круговые потоки физических материалов

(материальный аспект) и экономию этих потоков (экономический аспект). Материальный аспект связан с созданием замкнутых потоков. Это включает в себя потоки сырья, промежуточных продуктов, конечных продуктов (или предоставляемых услуг), использование продуктов и обращение с продуктами как с отходами (в линейной системе или системах с полузамкнутым контуром) в качестве сырья для производства новых продуктов в экономике замкнутого цикла.

Материальный аспект также включает в себя потребление энергии, связанное с этими потоками, и экологические проблемы, которые могут возникнуть при прохождении материалов через экономику. Макдоноу и др. [54], а также Браунгарт и др. [8] разделяют материальные потоки на два основных типа: технический и биологический потоки.

Важным аспектом перехода к экономике замкнутого цикла является потребность в системном мышлении, что требует новых типов технологий, продуктов и бизнес-моделей в дополнение к широким социально-экономическим изменениям [86]. Развитие должно привести к улучшению качества жизни людей и их способности формировать свое собственное будущее [62].

ЭЗЦ имеет прямое отношение к Целям устойчивого развития Организации Объединенных Наций [38], помогая сократить выбросы парниковых газов [20]. Основываясь на результатах исследования Абокерша и др. [1] можно заключить, что концепция экономики замкнутого цикла может повысить энергоэффективность в 30 раз. Гао и др. была показана положительная корреляция между производительностью ресурсов и экономическим развитием в парадигме ЭЗЦ.

Увеличение численности населения на планете и потребления привело к увеличению отходов и истощению природных ресурсов, что усугубило проблему изменения климата и нехватки ресурсов [Надушани, 2015; Стефанакис, 2021; Сесчин, 2021]. Модель ЭЗЦ основана на перепроектировании, восстановлении, повторном использовании товаров и материалов, принципах предотвращения отходов и загрязнения, изменении экологического поведения и стратегическом стимулировании политики для всех стейкхолдеров (поставщиков, производителей и потребителей) [25].

Страна с площадью 17,13 млн км² и общей численностью населения 146 млн человек в 2021 году богата природными ресурсами. Однако в последнее время РФ столкнулась с неконтролируемым образованием отходов из-за изменений в стиле потребления. Это создает проблемы для национальной экономики.

Будучи крупнейшей трансконтинентальной страной в мире, в последние годы структура национальной экономики Российской Федерации претерпела трансформацию из-за быстрого экономического роста и урбанизации. Увеличение численности населения и индустриализация страны привели к образованию огромного количества отходов. Хотя сама по себе урбанизация не является проблемой, незапланированный рост привел к образованию чрезмерного объема отходов [45].

В 2020 году общее ежегодное образование отходов в России достигло четырех миллиардов тонн. Из них 1,75% (70 миллионов) составляют ТБО, а остальное - неорганические отходы. Хотя ТБО составляют незначительную долю от общего объема отходов в России, эффективное и действенное обращение с ТБО имеет важное значение из-за его прямого воздействия на окружающую среду.

Таким образом, экономика замкнутого цикла отвечает духу времени из-за своей очевидной привлекательности: в отличие от традиционной линейной модели «сделай-используй-утилизировать», продукты и материалы могут повторно циркулировать в экономике. Применяя доступные технические решения, люди могут продолжать потреблять, а экономика может продолжать расти без ущерба для окружающей среды, связанного как с добычей сырья, так и утилизацией по истечении срока службы.

2. Оценка эффективности экономики замкнутого цикла

Важность экономических исследований ЭЗЦ была признана многими учеными [7]. Для систематического мониторинга переходного процесса исследователи подчеркивают важность разработки индикаторов ЭЗЦ [74], которые количественно оценивают изменения, как, например, экономические последствия внедрения. Тем не менее, исследований по экономическим показателям ЭЗЦ недостаточно, и всеобъемлющий обзор таких исследований отсутствует. За последние пару лет было

опубликовано много обзорных исследований по тематике показателей эффективности ЭЗЦ, например Паскалем и др.[13], Росси и др.[79], Кристенсеном и Мозгаардом? Короном и др. [11], Морагом и др. [60], Пархоменко и др. [72], Сассанелли и др. [83] и Сайдани и др.[81]. Тем не менее, большинство существующих обзорных исследований сосредоточены на экологических показателях ЭЗЦ, в то время как экономический аспект остается недостаточно изученным [72], несмотря на его высокую актуальность.

Предпринимаются попытки разработать общие показатели различаются по цели и масштабу, охвату и направленности [18, 33; 48, 58, 92]. Учитывая широкий спектр перспектив, форматов и масштабов, Сайдани др. [81] предлагают систематизацию различных показателей. Однако во многих обзорах рассматриваются конкретные аспекты ЭЗЦ, такие как эффективность использования ресурсов, [33] экологические инновации, [88] извлечение ресурсов из отходов [35]. Майер и др. предлагает набор показателей на основе анализа материальных потоков с предпосылкой, что ЭЗЦ «должен способствовать снижению давления на окружающую среду, вызванного использованием ресурсов» [53].

Кроме того, предложение по оценке ЭЗЦ сделаны Сайдани и др. [81], Хайсмана и др. [33], де Оливейра и др. [12], Падилья-Ривера и др.[70], Ринкон-Морено и др. [77], Авдющенко и Зайцака [5] и Кайзера и др. [9]. В частности, актуальна оценка долговечности [21], использование метода учета энергозатрат [Santagata, 2020], анализ циклов переработки [28], производств [42], разделение конечных продуктов на группы [78]. Кроме того, есть данные о показателях по регионам или странам, таким как Германия [29], Китай [24], Швеция [28], Хорватия [50], по типу отходов [87], по рынкам [37], типу продукции [34], и цепочкам поставок [57], а также альтернативным методам производства [18].

По мере экспоненциального роста количества публикаций, связанных с ЭЗЦ, растет и разнообразие измерительных инструментов для оценки производительности продуктов, услуг и систем с точки зрения ЭЗЦ.

Несколько авторов утверждают, что показатели ЭЗЦ на макроуровне разработаны лучше [9, 25]. Однако показатели, используемые в настоящее время в

национальных системах мониторинга ЭЗЦ, изначально не были разработаны или адаптированы для измерения ЭЗЦ. Например, ключевые показатели ЭЗЦ, используемые странами ЕС и Китаем, имеют важные недостатки, такие как показатели утилизации, которые измеряют только количество материала, отправленного на переработку, а не материальную ценность, полученную в процессе переработки [14].

Морага и соавторы [60] описали такие показатели, как самообеспеченность сырьем, образование отходов, пищевые отходы, коэффициенты переработки, утилизация потоков отходов, вклад переработанных материалов в спрос на сырье, торговля перерабатываемым сырьем, частные инвестиции, рабочие места и валовая добавленная стоимость, а также патенты, связанные с переработкой и вторичным сырьем.

Кирххерр и др. [41] обнаружили не менее 110 определений экономики замкнутого цикла, а также обнаружили, что определения экономики замкнутого цикла чаще всего относятся к структуре 4R (сокращение, повторное использование, переработка и восстановление). Эта структура ЭЗЦ имеет сильную коннотацию с иерархией отходов, которая используется в качестве руководящего принципа для ранжирования политики переработки в Рамочной директиве ЕС по отходам.

Таким образом, недавние исследования показали сдвиг от текущей модели переработки отходов. Действительно, возможность повторного использования может иметь решающее значение для стратегии повышения эффективности использования ресурсов. В исследовании проводился обзор существующей литературы с целью понять, какие методы используются до сих пор для измерения и оценки циклической производительности системы и как они использовались на практике исследователями. Анализ литературы подтверждает, что циклические модели могут быть измерены.

3. Влияние цифровой трансформации на распространение концепции ЭЗЦ

Экономика замкнутого цикла и Экономика 4.0 (I4.0) представляют две наиболее важные промышленные парадигмы, определяющие научную мысль в вопросах развития промышленного производства [90]. Учитывая важность, которую

со временем приобрели эти две парадигмы, во многих литературных источниках ЭЗЦ и I4.0 обсуждаются с нескольких точек зрения [47] Тем не менее, между теорией и практикой все еще существует большая дистанция.

Одно общее утверждение, разделяемое экспертами, заключается в том, что I4.0 может выступать в качестве средства, способствующего развитию ЭЗЦ. Компания, желающая организовать производство на основе принципов ЭЗЦ не может избежать применения технологий I4.0. В научной литературе несколько работ были посвящены этому направлению [67].

Интернет вещей считался одной из наиболее перспективных технологий, способных поддержать переход к ЭЗЦ. Помимо статей, посвященных общему описанию потенциальных применений Интернета вещей для продления жизненного цикла продукта, было общее понимание того, что Интернет вещей может распространить свое влияние на широкий круг областей, связанных с ЭЗЦ. Одним из вариантов является внедрение Интернета вещей для внедрения новых стратегий управления отходами в умных городах и интенсификация сотрудничества в высокотехнологичных отрасли тяжелой промышленности.

Другой возможностью для использования Интернета вещей является оцифровка практик ЭЗЦ, например, путем внедрения интеллектуальных промышленных сред [Natzivasilis] или контуров управления с динамичной обратной связью [76]. Интернет вещей подходит для разработки новых услуг и мер укрепления доверия к ним [2].

В зависимости от авторов, цифровые технологии могут использоваться для улучшения общей эффективности ЭЗЦ [4], роста энергоэффективности, улучшения продукта [61, 84] или процесса производства [85, 91].

Эксперты считают цифровые технологии хорошим инструментом для увязки управления жизненным циклом продукта и цифрового производства, например, с помощью облачных вычислений [31]. Цифровые технологии могут быть полезны для разработки новых методов оценки, которые количественно определяют уровень воздействия на окружающую среду [52], новых инструментов управления

энергопотреблением [95] платформ, оперирующих информацией о жизненном цикле продукта [55, 56].

Поскольку традиционная практика утилизации достигает предела своих возможностей, цифровые технологии могут свести к минимуму количество не переработанных отходов, сохраняя при этом сырье и снижая выбросы парниковых газов [96]. Эти аспекты чистого производства актуальны для всех отраслей промышленности, независимо от типа или размера. Поэтому требуется интеграция подходящих технологий и соответствующей политики для получения социально-экономических выгод после превращения сектора отходов из источника выбросов парниковых газов из части экологических проблем в часть решений в области устойчивого развития.

Таким образом, цифровизация играет решающую роль в секторе переработки отходов для построения устойчивой экономики, изменяя способы ведения бизнеса. Технический прогресс позволяет цифровизации предлагать практические решения для сектора переработки отходов с долгосрочными выгодами для общества.

Выводы

Экономика замкнутого цикла, как экономическая модель развивалась в 1970-х годах, но с 1990-х годов привлекает все большее внимание и основана на подходе 3R - сокращение, повторное использование и переработка [19]. Это стало ответом на линейную модель производства и потребления, распространенную во всем мире, в которой продукты производятся, используются, а затем выбрасываются как отходы.

Современные государства пытаются оказать влияние не только на производство, но и на потребление, в частности, трансформировать распространенную модель избыточного потребления (сверхпотребления), ориентирующую домохозяйства на приобретение в собственность все большего числа товаров и услуг во все возрастающих масштабах, принимая во внимание исключительно частную выгоду.

В настоящее время в ряде стран успешно осуществляется политика стимулирования снижения объемов отходов. Однако формирование модели экономики замкнутого цикла требует перехода к устойчивому потреблению,

включая переориентацию потребительского спроса. Стимулированию потребления нового типа продукта может содействовать совершенствование института гарантий потребителям при защите от приобретения некачественных товаров, государственные программы развития услуг послепродажного обслуживания и ремонта.

С точки зрения модификации экономических отношений, существенный интерес представляет вписывание в нелинейную экономику инновационных моделей потребления, основанных на принципах коллаборативности. Под этим мы понимаем трансформацию экономических отношений в направлении вовлечения потенциала неиспользуемых (недоиспользуемых) активов, в первую очередь, домашних хозяйств, с превращением последних из пассивных потребителей в производителей.

Путь повторного использования обладает потенциалом для значительной экономии средств по сравнению с переработкой, которая является энергоемким и затратным процессом [58]. Основными причинами, препятствующими циркулярности при обращении с отходами, являются экономические, социально-культурные и институциональные факторы [82].

Существует вероятность, что модификация модели производства ускорится на фоне дестабилизации цен на энергоносители, что сокращение доходов населения при входе национальных экономик в рецессию замедлит развитие ЭЗЦ. Вместе с тем, многие развитые страны демонстрируют уже сейчас достаточно широкий спектр примеров трансформации моделей производства и потребления, заслуживающий пристального изучения.

Список источников

1. *Abokersh M.H., Norouzi M., Boer D., Cabeza L.F., Casa G., Prieto C., Vallès M. A. framework for sustainable evaluation of thermal energy storage in circular economy // Renewable Energy. 2021. №175. pp. 686-701. DOI: 10.1016/j.renene.2021.04.136.*
2. *Alcayaga A., Hansen E. Smart-Circular Systems: A Service Business Model Perspective // Product Lifetimes and the Environment Conference. 2017. pp. 10–13. . DOI:10.3233/978-1-61499-820-4-10.*

3. *Alcayaga A., Wiener M., Hansen E.G.* Towards a framework of smart-circular systems: An integrative literature review // *Journal of cleaner production*. 2019. №221. pp. 622-634. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.085.
4. *Angioletti M. C., Despeisse M., Rocca R.* Product Circularity Assessment Methodology // *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. 2017. №514. pp. 411–418. DOI:10.1007/978-3-319-66926-7_47.
5. *Avdiushchenko A, Zajac P.* Circular economy indicators as a supporting tool for European regional development policies // *Sustain*. 2019. №11. DOI: 10.3390/su11113025.
6. *Behzad E., Wang B., Lewis K., Duarte F., Ratti C., Behdad S.* The Future of Waste Management in Smart and Sustainable Cities: A Review and Concept Paper // *Waste Management*. 2018. №81. pp.177–195. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.09.047.
7. *Bocken N.M.P., de Pauw I., Bakker C., van der Grinten B.* Product design and business model strategies for a circular economy // *Journal of Industrial and Production Engineering*. 2016. №33. pp. 308-320. DOI: 10.1080/21681015.2016.1172124.
8. *Braungart M., McDonough W., Bollinger A.* Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design // *Journal of cleaner production*. 2007. №15 (13–14). pp. 1337-1348. DOI: 10.1016/j.jclepro.2006.08.003.
9. *Cayzer S., Griffiths P., Beghetto V.* Design of indicators for measuring product performance in the circular economy // *Int J Sustain Eng*. 2017. №10(4–5). pp. 289–298. DOI: 10.1080/19397038.2017.1333543.
10. *Cecchin R., Salomone P., Deutz P., Raggi A., Cutaita L.* What is in a name? The rising star of the circular economy as a resource-related concept for sustainable development // *Circular Economy and Sustainability*. 2021. №1. pp. 83-97. DOI: 10.1007/s43615-021-00021-4.
11. *Corona B., Shen L., Reike D., Rosales Carreón J., Worrell E.* Towards sustainable development through the circular economy—a review and critical assessment on current circularity metrics // *Resour Conserv Recycl*. 2019. №151. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104498.

12. *de Oliveira C.T., Dantas T.E.T., Soares S.R.* Nano and micro level circular economy indicators: assisting decision-makers in circularity assessments // *Sustain Prod Consum.* 2021. №26. pp. 455–468. DOI: 10.1016/j.spc.2020.11.024.
13. *de Pascale A., Arbolino R., Szopik-Depczyńska K, Limosani M, Ioppolo G.* A systematic review for measuring circular economy: the 61 indicators // *Journal of Cleaner Production.* 2021. №281. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124942.
14. *Di Maio F., Rem P.C.* A robust indicator for promoting circular economy through recycling // *J. Environ. Prot.* 2015. № 6. pp. 1095-1104. DOI: 10.1080/19397038.2017.1333543.
15. *Dimoudi A., Tompa C.* Energy and environmental indicators related to construction of office buildings // *Resources, Conservation and Recycling.* 2008 №. 53 (1–2). pp. 86-95. DOI: 10.1016/j.resconrec.2008.09.008.
16. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>.
17. *Dumée L.F.* Circular materials and circular design—review on challenges towards sustainable manufacturing and recycling // *Circular Economy and Sustainability.* 2021. №2. pp. 9-23. DOI: 10.1007/s43615-021-00085-2.
18. *Elia V., Gnoni M. G., Tornese F.* Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis // *Journal of Cleaner Production.* 2017. №142(4). pp. 2741–2751. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.196.
19. Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy, Opportunities for the Consumer Goods Sector.* URL: <https://tinyurl.com/ztnrg24>
20. *Feldman L.; Hart P.S.* Climate change as a polarizing cue: Framing effects on public support for low-carbon energy policies // *Global Environmental Change.* 2018. №51. pp. 54–66. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2018.05.004.
21. *Figge F., Thorpe A.S., Givry P., Canning .L, Franklin-Johnson E.* Longevity and circularity as indicators of eco-efficient resource use in the circular economy // *Ecol Econ.* 2018. №150. pp.297–306. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2018.04.030.

22. Gao H., Tian X., Zhang Y., Shi L., Shi F. Evaluating circular economy performance based on ecological network analysis: a framework and application at city level. // *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. №168. pp. 105-257. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105257.
23. *Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M., Hultink E. J.* The circular economy: A new sustainability paradigm? // *Journal of Cleaner Production*. 2017. №143. pp. 757–768. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.
24. *Geng Y., Sarkis J., Ulgiati S., Zhang P.* Measuring China's circular economy // *Sci*. 2013. № 339(6127). pp. 1526–1527. DOI: 10.1126/science.1227059.
25. *Ghisellini P., Cialani C. , Ulgiati S.* A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems // *Journal of cleaner production*. 2016. №114. pp. 11-32. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007.
26. *Ghisellini P., Passaro R., Ulgiati S.* Revisiting Keynes in the light of the transition to circular economy // *Circular Economy and Sustainability*. 2021. №1. pp. 143-171. DOI: 10.1007/s43615-021-00016-1.
27. *Haupt M., Hellweg S.* Measuring the environmental sustainability of a circular economy // *Environ Sustain Indic*. 2019. №1–2. pp. 100-105. DOI: 10.1016/j.indic.2019.100005.
28. *Haupt M., Vadenbo C., Hellweg S.* Do we have the right performance indicators for the circular economy? Insight into the Swiss waste management system. // *J Ind Ecol*. 2017. № 21(3). P. 615– 627. DOI: 10.1111/jiec.12506.
29. *Helander H., Petit-Boix A., Leipold S., Bringezu S.* How to monitor environmental pressures of a circular economy: an assessment of indicators // *J Ind Ecol*. 2019. № 23(5). pp. 1278–1291. DOI: 10.1111/jiec.12924.
30. *Hofstetter J.S., De Marchi V., Sarkis J.* From sustainable global value chains to circular economy—different silos, different perspectives, but many opportunities to build bridges // *Circular Economy and Sustainability*. 2021. №1. pp. 21-47. DOI: 10.1007/s43615-021-00015-2.
31. *Holligan C., Hargaden V., Papakostas N.* Product Lifecycle Management and Digital Manufacturing Technologies in the Era of Cloud Computing // In 23rd ICE/IEEE

International Technology Management Conference. 2017. pp. 937–946. DOI: 10.1109/ICE.2017.8279980.

32. *Huysman S., Sala S., Mancini L., Ardente F., Alvarenga R. A. F., Meester S. D., Dewulf J.* Toward a systematized framework for resource efficiency indicators // *Resources, Conservation and Recycling*. 2015. №95. pp.68–76. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.10.01.

33. *Huysman S., Schaepmeester J., Ragaert K., Dewulf J., De Meester S.* Performance indicators for a circular economy: a case study on post-industrial plastic waste // *Resour Conserv Recycl*. 2017. №120. pp.46–54. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.01.013

34. *Huysveld S., Hubo S., Ragaert K., Dewulf J.* Advancing circular economy benefit indicators and application on open-loop recycling of mixed and contaminated plastic waste fractions // *Journal of Cleaner Production*. 2019. №211. pp.1–13. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.110.

35. *Iacovidou E., Velis C. A., Purnell P., Zwirner O., Brown A., Hahladakis J., Williams P. T.* Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: A critical review // *Journal of Cleaner Production*. 2017. №166. pp. 910–938. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.100.

36. Instituto Nacional Ecuatoriano de Cifras Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2015, Gestión Integral de Residuos Sólidos. URL: <https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/639>

37. *Janik A., Ryszko A.* Circular economy in companies: an analysis of selected indicators from a managerial perspective // *Multidiscip Asp Prod Eng*. 2019. №2(1). P. 523–535. DOI: 10.2478/mape-2019-0053

38. *Johnston R.B.* Arsenic and the 2030 Agenda for sustainable development // In *Proceedings of the 6th International Congress on Arsenic in the Environment, Stockholm, Sweden, 19–23 June 2016*. pp. 12–14.

39. *Kalmykova Y., Sadagopan M., Rosado L.* Circular economy – from review of theories and practices to development of implementation tools // *Resources, Conservation and Recycling*. 2018. №135. pp. 190-201. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.034.

40. *Kannan G., Hasanagic M. A.* Systematic Review on Drivers, Barriers, and Practices towards Circular Economy: A Supply Chain Perspective // International Journal of Production Research. 2018. №7543. pp. 1–34. DOI:10.1080/00207543.2017.1402141.
41. *Kirchherr J., Reike D., Hekkert M.* Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions // Resources, Conservation and Recycling. 2017. №127. pp. 221-232. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
42. *Kravchenko M., McAloone T.C., Pigosso D.C.A.* To what extent do circular economy indicators capture sustainability? // Procedia CIRP. 2020. №90. pp. 31–36. DOI: 10.1016/j.procir. 2020.02.118
43. *Kristensen H.S., Mosgaard M.A.* A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? // Journal of Cleaner Production. 2020. №243. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118531
44. *Kuo T. C., Smith S.* A Systematic Review of Technologies Involving Eco-Innovation for Enterprises Moving towards Sustainability //Journal of Cleaner Production. 2018. №192. pp. 207–220. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.04.212
45. *Kurniawan T.A., Liang X., O'Callaghan E., Goh H.H., Othman M.H.D., Avtar R., Kusworo T.D.* Transformation of solid waste management in China: moving towards sustainability through digitalization-based circular economy // Sustainability. 2022. №14. DOI: 10.3390/su14042374.
46. *Leen G., Vrancken K., Manshoven S.* Transition Thinking and Business Model Innovation-towards a Transformative Business Model and New Role for the Reuse Centers of Limburg, Belgium // Sustainability (Switzerland). 2016. №8 (2). DOI:10.3390/su8020112.
47. *Liao Y., Deschamps F., Loures E.F.R., Ramos L. F. P.* Past, Present and Future of Industry 4.0 - A Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal // International Journal of Production Research. 2017. № 55 (12) pp. 3609–3629. DOI:10.1080/00207543.2017.1308576.
48. *Linder M., Sarasini S., van Loon P.* A metric for quantifying product-level circularity // Journal of Industrial Ecology. 2017. №21(3). pp. 545–558 DOI: 10.1111/jiec.12552

49. *Lorenzo B.* Industry 4.0: Hope, Hype or Revolution? // 3rd IEEE International Forum on Research and Technologies for Society and Industry. 2017. pp. 1–5. DOI: 10.1109/RTSI.2017.8065927.
50. *Luttenberger L.R.* Waste management challenges in transition to circular economy—case of Croatia // *Journal of Cleaner Production*. 2020. № 256. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120495.
51. *Ma J., Harstvedt J. D., Dunaway D., Bian L., Jaradat R.* An Exploratory Investigation of Additively Manufactured Product Life Cycle Sustainability Assessment // *Journal of Cleaner Production*. 2018. №192. pp. 55–70. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.04.249.
52. *Mashhadi R. A., Behdad S.* Ubiquitous Life Cycle Assessment (U-LCA): A Proposed Concept for Environmental and Social Impact Assessment of Industry 4.0 // *Manufacturing Letters*. 2018. №15. pp. 93-96. DOI: 10.1016/j.mfglet.2017.12.012.
53. *Mayer A., Haas W., Wiedenhofer D., Krausmann F., Nuss P., Blengini G. A.* Measuring progress towards a circular economy: A monitoring framework for economy-wide material loop closing in the EU28. // *Journal of Industrial Ecology*. 2018. №132. DOI: 10.1111/jiec.12809.
54. *McDowall W., Geng Y., Huang B., Barteková E., Bleischwitz R., Türkeli S., Kemp R., Doménech T.* Circular economy policies in China and Europe // *Journal of Industrial Ecology*. 2017. № 21 (3). pp. 651-661. DOI: 10.1111/jiec.12597.
55. *Menon K., Kärkkäinen H., Gupta J. P.* Role of Industrial Internet Platforms in the Management of Product Lifecycle Related Information and Knowledge // *In Product Lifecycle Management for Digital Transformation of Industries*. 2016. pp. 549–558. DOI:10.1007/978-3-319-54660-5_49.
56. *Menon K., Kärkkäinen H., Wuest T., Gupta J. P.* Industrial Internet Platforms: A Conceptual Evaluation from a Product Lifecycle Management Perspective. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B* // *Journal of Engineering Manufacture*. 2018. pp.1–12. DOI:10.1177/0954405418760651.
57. *Mesa J, Esparragoza I, Maury H.* Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model // *Journal of Cleaner Production*. 2018. №196. pp. 1429–1442. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.131.

58. *Milford R.L., Pauliuk S., Allwood J.M., Müller D.B.* The roles of energy and material efficiency in meeting steel industry CO₂ targets // *Environ. Sci. Technol.* 2013. №47 (7). pp. 3455-3462. DOI: 10.1021/es3031424.
59. Ministry of Natural Resources of Russia. On environmental protection of the Russian Federation in 2020. URL https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/
60. *Moraga G., Huysveld S., Mathieux F., Blengini G.A., Alaerts L., van Acker K., de Meester S., Dewulf J.* Circular economy indicators: what do they measure? // *Resour Conserv Recycl.* 2019. №146. pp. 452–461. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.03.045.
61. *Müller J., Panarotto M., Malmqvist J., Isaksson O.* Lifecycle Design and Management of Additive Manufacturing Technologies // *Procedia Manufacturing.* 2018. №19. pp.135–142. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.01.019.
62. *Mura L., Gontkovicova B., Spisakova E.D., Hajduova Z.* Position of employee benefits in remuneration structure // *Transformations in business & economics.* 2019. №2 (47). pp. 156-173.
63. *Nadoushani Z.S.M., Akbarnezhad A.* Effects of structural system on the life cycle carbon footprint of buildings // *Energy and Buildings.* 2015. №102. pp. 337-346. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.05.044.
64. *Närvänen M., Mattila N.* Mesiranta Institutional work in food waste reduction: start-ups' role in moving towards a circular economy // *Industrial Marketing Management.* 2021. №93. pp. 605-616. DOI: 10.1016/j.indmarman.2020.08.009.
65. *Neligan A.* Two years later: The EU circular economy package: An update, IW Policy Papers. Cologne: German Economic Institute (IW). URL: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/policy_papers/PDF/2018/IW-Policy-Paper_2018_9_The_Circular_Economy_Package
66. *Nikolaou I.E., Jones N., Stefanakis A.I.* Circular economy and sustainability: the past, the present and the future directions // *Circular Economy and Sustainability.* 2021. №1. pp. 1-20. DOI: 10.1007/s43615-021-00030-3.
67. *Nobre C., Tavares E.* Scientific Literature Analysis on Big Data and Internet of Things Applications on Circular Economy: A Bibliometric Study // *Scientometrics.* 2017. №111 (1). pp. 463–492. DOI:10.1007/s11192-017-2281-6.

68. *Okechukwu O., Salonitis K., Charnley F., Moreno M., Turner C., Tiwari A.* Digitisation and the Circular Economy: A Review of Current Research and Future Trends // *Energies* (Switzerland). 2018. №11 (11). DOI:10.3390/en11113009.
69. *O'Neill A.* Largest countries in the world URL <https://www.statista.com/statistics/262955/largest-countries-in-the-world/>
70. *Padilla-Rivera A., do Carmo B.B.T., Arcese G., Merveille N.* Social circular economy indicators: selection through fuzzy delphi method // *Sustain Prod Consum.* 2021. №26. pp. 101–110. DOI: 10.1016/j.spc.2020.09.015.
71. *Palie S., Hemel S., Lettice F., Adams R., Evans S.* Pre-Paradigmatic Status of Industrial Sustainability: A Systematic Review // *International Journal of Operations & Production Management.* 2017. №37 (10). pp.1425–1450. DOI: 10.1108/IJOPM-02-2016-0058.
72. *Parchomenko A, Nelen D, Gillabel J, Rechberger H.* Measuring the circular economy - A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics // *Journal of Cleaner Production.* 2019. №210. pp. 200–216. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.357.
73. *Patala S., Salmi A., Bocken N.* Intermediation dilemmas in facilitated industrial symbiosis // *Journal of cleaner production.* 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121093.
74. *Pauliuk S.* Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations // *Resour Conserv Recycl.* 2018. № 129. pp. 81–92. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.019
75. *Pauliuk S.* Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001: 2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations // *Resources, Conservation and Recycling.* 2018. №129. pp. 81–92. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.01
76. *Reuter M. A., Matusiewicz R., van Schaik A.* Lead, Zinc and Their Minor Elements: Enablers of a Circular Economy // *World of Metallurgy – ERZMETALL.* 2015. №68 (3). pp. 134–148.
77. *Rincón-Moreno J, Ormazábal M., Álvarez M.J., Jaca C.* Advancing circular economy performance indicators and their application in Spanish companies // *Journal of Cleaner Production.* 2021. №279. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123605.

78. *Rodriguez-Anton J.M., Rubio-Andrada L., Celemín-Pedroche M.S., Alonso-Almeida M.D.M.* Analysis of the relations between circular economy and sustainable development goals // *Int J Sust Dev World*. 2019. №26(8). pp. 708–720. DOI: 10.1080/13504509.2019.1666754
79. *Rossi E, Bertassini AC, Ferreira, C.d.S., Neves do Amaral, W.A., Ometto, A.R.* Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: plastic, textile and electro-electronic cases // *Journal of Cleaner Production*. 2020. №247. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119137.
80. *Rüßmann M., Lorenz P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M.* Industry 4.0 // *The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. 2015. DOI: 10.1007/s12599-014-0334-4.
81. *Saidani M., Yannou B., Leroy, Y., Cluzel F., Kendall A.* A taxonomy of circular economy indicators // *Journal of Cleaner Production*. 2018. №207. pp. 542–559. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.014.
82. *Salmenperä H., Pitkänen K., Kautto P., Saikku L.* Critical factors for enhancing the circular economy in waste management // *Journal of cleaner production*. 2021. №280. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124339.
83. *Sassanelli C., Rosa P, Rocca R., Terzi S.* Circular economy performance assessment methods: a systematic literature review // *Journal of Cleaner Production*. 2019. №229. pp. 440–453. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.019.
84. *Sauerwein M., Bakker C. A., Balkenende A. R.* Additive Manufacturing for Circular Product Design: A Literature Review from a Design Perspective. // *In PLATE 2017 - Product Lifetimes and the Environment Conference*. 2017. pp. 358–364. DOI:10.3233/978-1-61499-820-4-358.
85. *Schmidt M., Merklein M., Bourell D., Dimitrov D., Hausotte T., Wegener K., Overmeyer L., Vollertsen F., Levy G. N.* Laser Based Additive Manufacturing in Industry and Academia // *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2017. №66 (2). pp.561–583. DOI: 10.1016/j.cirp.2017.05.011.
86. *Silva L.F., Guevara A.J.H., Gonzalez E.D.S., Oliveira P.S.G.* Evolution toward environment sustainable behavior: search for survival in the plastic industry in Brazil //

Environment, Development and Sustainability. 2019. 21 (3). pp. 1291-1320. DOI: 10.1007/s10668-018-0085-3

87. *Smol M., Koneczna R.* Economic indicators in water and wastewater sector contributing to a circular economy (CE) // *Resours.* 2021. №10 (2). DOI: 10.3390/resources10120129.

88. *Smol M., Kulczycka J., Avdiushchenko A.* Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions // *Clean Technologies and Environmental Policy.* 2017. №19(3). pp. 669–678. DOI: 10.1007/s10098-016-1323-8.

89. *Stefanakis A.I., Calheiros C.S., Nikolaou I.* Nature-based solutions as a tool in the new circular economic model for climate change adaptation // *Circular Economy and Sustainability.* 2021. №1. pp. 303-318. DOI: 10.1007/s43615-021-00022-3.

90. *Suárez-Eiroa B., Fernández E., Méndez-Martínez G., Soto-Oñate D.* Operational Principles of Circular Economy for Sustainable Development: Linking Theory and Practice // *Journal of Cleaner Production.* 2019. pp.952-961. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.271.

91. *Syed-Khaja A., Patino Perez P., Franke J.* Production and Characterization of High-Temperature Substrates through Selective Laser Melting (SLM) for Power Electronics // In *ICJSJ 2016 - IEEE CPMT Symposium Japan.* 2016. pp. 255–258. DOI:10.1109/ICJSJ.2016.7801276.

92. *Tecchio P., McAlister, C., Mathieux F., Ardente F.* In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach. // *Journal of Cleaner Production.* 2017. №168. pp. 1533.–1546. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.05.198.

93. The Boston Consulting Group (BCG). The new big circle. Achieving growth and business model innovation through circular economy implementation. https://docs.wbcscd.org/2018/01/The_new_big_

94. *Tingley D.D., Davison B.* Developing an LCA methodology to account for the environmental benefits of design for deconstruction // *Building and Environment.* 2012. №57. P. 387-395. DOI: 0.1016/j.buildenv.2012.06.005.

95. Wang Y., Zhang M., Zuo Y. Potential Applications of IoT-Based Product Lifecycle Energy Management // In ICIEA 2016 - 11th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. 2016. DOI:10.1109/ICIEA.2016.7603917.

96. Zorpas A.Z., Lasaridi K., Pociovalisteanu D.M., Loizia P. Monitoring and evaluation of prevention activities regarding household organics waste from insular communities // Journal of cleaner production. 2018. №172. pp. 3567-3577. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.155.

References

1. Abokersh M.H., Norouzi M., Boer D., Cabeza L.F., Casa G., Prieto C., Vallès M. A. framework for sustainable evaluation of thermal energy storage in circular economy // Renewable Energy. 2021. №175. pp. 686-701. DOI: 10.1016/j.renene.2021.04.136.

2. Alcayaga A., Hansen E. Smart-Circular Systems: A Service Business Model Perspective // Product Lifetimes and the Environment Conference. 2017. pp. 10–13. . DOI:10.3233/978-1-61499-820-4-10.

3. Alcayaga A., Wiener M., Hansen E.G. Towards a framework of smart-circular systems: An integrative literature review // Journal of cleaner production. 2019. №221. pp. 622-634. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.085.

4. Angioletti M. C., Despeisse M., Rocca R. Product Circularity Assessment Methodology // IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2017. №514. pp. 411–418. DOI:10.1007/978-3-319-66926-7_47.

5. Avdiushchenko A, Zajac P. Circular economy indicators as a supporting tool for European regional development policies // Sustain. 2019. №11. DOI: 10.3390/su11113025.

6. Behzad E., Wang B., Lewis K., Duarte F., Ratti C., Behdad S. The Future of Waste Management in Smart and Sustainable Cities: A Review and Concept Paper // Waste Management. 2018. №81. pp.177–195. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.09.047.

7. Bocken N.M.P., de Pauw I., Bakker C., van der Grinten B. Product design and business model strategies for a circular economy // Journal of Industrial and Production Engineering. 2016. №33. pp. 308-320. DOI: 10.1080/21681015.2016.1172124.

8. Braungart M., McDonough W., Bollinger A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design // Journal of cleaner production. 2007. №15 (13–14). pp. 1337-1348. DOI: 10.1016/j.jclepro.2006.08.003.
9. Cayzer S., Griffiths P., Beghetto V. Design of indicators for measuring product performance in the circular economy // Int J Sustain Eng. 2017. №10(4–5). pp. 289–298. DOI: 10.1080/19397038.2017.1333543.
10. Cecchin R., Salomone P., Deutz P., Raggi A., Cutaia L. What is in a name? The rising star of the circular economy as a resource-related concept for sustainable development // Circular Economy and Sustainability. 2021. №1. pp. 83-97. DOI: 10.1007/s43615-021-00021-4.
11. Corona B., Shen L., Reike D., Rosales Carreón J., Worrell E. Towards sustainable development through the circular economy—a review and critical assessment on current circularity metrics // Resour Conserv Recycl. 2019. №151. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104498.
12. de Oliveira C.T., Dantas T.E.T., Soares S.R. Nano and micro level circular economy indicators: assisting decision-makers in circularity assessments // Sustain Prod Consum. 2021. №26. pp. 455–468. DOI: 10.1016/j.spc.2020.11.024.
13. de Pascale A., Arbolino R., Szopik-Depczyńska K, Limosani M, Ioppolo G. A systematic review for measuring circular economy: the 61 indicators // Journal of Cleaner Production. 2021. №281. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124942.
14. Di Maio F., Rem P.C. A robust indicator for promoting circular economy through recycling // J. Environ. Prot. 2015. № 6. pp. 1095-1104. DOI: 10.1080/19397038.2017.1333543.
15. Dimoudi A., Tompa C. Energy and environmental indicators related to construction of office buildings // Resources, Conservation and Recycling. 2008 №. 53 (1–2). pp. 86-95. DOI: 10.1016/j.resconrec.2008.09.008.
16. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>.

17. Dumée L.F. Circular materials and circular design—review on challenges towards sustainable manufacturing and recycling // *Circular Economy and Sustainability*. 2021. №2. pp. 9-23. DOI: 10.1007/s43615-021-00085-2.
18. Elia V., Gnoni M. G., Tornese F. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis // *Journal of Cleaner Production*. 2017. №142(4). pp. 2741–2751. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.196.
19. Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy, Opportunities for the Consumer Goods Sector*. URL: <https://tinyurl.com/ztnrg24>
20. Feldman L.; Hart P.S. Climate change as a polarizing cue: Framing effects on public support for low-carbon energy policies // *Global Environmental Change*. 2018. №51. pp. 54–66. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2018.05.004.
21. Figge F., Thorpe A.S., Givry P., Canning .L, Franklin-Johnson E. Longevity and circularity as indicators of eco-efficient resource use in the circular economy // *Ecol Econ*. 2018. №150. pp.297–306. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2018.04.030.
22. Gao H., Tian X., Zhang Y., Shi L., Shi F. Evaluating circular economy performance based on ecological network analysis: a framework and application at city level. // *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. №168. pp. 105-257. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105257.
23. Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M., Hultink E. J. The circular economy: A new sustainability paradigm? // *Journal of Cleaner Production*. 2017. №143. pp. 757–768. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.
24. Geng Y., Sarkis J., Ulgiati S., Zhang P. Measuring China’s circular economy // *Sci*. 2013. № 339(6127). pp. 1526–1527. DOI: 10.1126/science.1227059.
25. Ghisellini P., Cialani C. , Ulgiati S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems // *Journal of cleaner production*. 2016. №114. pp. 11-32. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007.
26. Ghisellini P., Passaro R., Ulgiati S. Revisiting Keynes in the light of the transition to circular economy // *Circular Economy and Sustainability*. 2021. №1. pp. 143-171. DOI: 10.1007/s43615-021-00016-1.

27. Haupt M., Hellweg S. Measuring the environmental sustainability of a circular economy // *Environ Sustain Indic.* 2019. №1–2. pp. 100-105. DOI: 10.1016/j.indic.2019.100005.
28. Haupt M., Vadenbo C., Hellweg S. Do we have the right performance indicators for the circular economy? Insight into the Swiss waste management system. // *J Ind Ecol.* 2017. № 21(3). P. 615– 627. DOI: 10.1111/jiec.12506.
29. Helander H., Petit-Boix A., Leipold S., Bringezu S. How to monitor environmental pressures of a circular economy: an assessment of indicators // *J Ind Ecol.* 2019. № 23(5). pp. 1278–1291. DOI: 10.1111/jiec.12924.
30. Hofstetter J.S., De Marchi V., Sarkis J. From sustainable global value chains to circular economy—different silos, different perspectives, but many opportunities to build bridges // *Circular Economy and Sustainability.* 2021. №1. pp. 21-47. DOI: 10.1007/s43615-021-00015-2.
31. Holligan C., Hargaden V., Papakostas N. Product Lifecycle Management and Digital Manufacturing Technologies in the Era of Cloud Computing // In *23rd ICE/IEEE International Technology Management Conference.* 2017. pp. 937–946. DOI: 10.1109/ICE.2017.8279980.
32. Huysman S., Sala S., Mancini L., Ardente F., Alvarenga R. A. F., Meester S. D., Dewulf J. Toward a systematized framework for resource efficiency indicators // *Resources, Conservation and Recycling.* 2015. №95. pp.68–76. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.10.01.
33. Huysman S., Schaepmeester J., Ragaert K., Dewulf J., De Meester S. Performance indicators for a circular economy: a case study on post-industrial plastic waste // *Resour Conserv Recycl.* 2017. №120. pp.46–54. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.01.013
34. Huysveld S., Hubo S., Ragaert K., Dewulf J. Advancing circular economy benefit indicators and application on open-loop recycling of mixed and contaminated plastic waste fractions // *Journal of Cleaner Production.* 2019. №211. pp.1–13. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.110.
35. Iacovidou E., Velis C. A., Purnell P., Zwirner O., Brown A., Hahladakis J., Williams P. T. Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from

waste in a circular economy: A critical review // Journal of Cleaner Production. 2017. №166. pp. 910–938. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.100.

36. Instituto Nacional Ecuatoriano de Cifras Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2015, Gestión Integral de Residuos Sólidos. URL: <https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/639>

37. Janik A., Ryszko A. Circular economy in companies: an analysis of selected indicators from a managerial perspective // Multidiscip Asp Prod Eng. 2019. №2(1). P. 523–535. DOI: 10.2478/mape-2019-0053

38. Johnston R.B. Arsenic and the 2030 Agenda for sustainable development // In Proceedings of the 6th International Congress on Arsenic in the Environment, Stockholm, Sweden, 19–23 June 2016. pp. 12–14.

39. Kalmykova Y., Sadagopan M., Rosado L. Circular economy – from review of theories and practices to development of implementation tools // Resources, Conservation and Recycling. 2018. №135. pp. 190-201. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.034.

40. Kannan G., Hasanagic M. A. Systematic Review on Drivers, Barriers, and Practices towards Circular Economy: A Supply Chain Perspective // International Journal of Production Research. 2018. №7543. pp. 1–34. DOI:10.1080/00207543.2017.1402141.

41. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions // Resources, Conservation and Recycling. 2017. №127. pp. 221-232. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

42. Kravchenko M., McAloone T.C., Pigosso D.C.A. To what extent do circular economy indicators capture sustainability? // Procedia CIRP. 2020. №90. pp. 31–36. DOI: 10.1016/j.procir.2020.02.118

43. Kristensen H.S., Mosgaard M.A. A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? // Journal of Cleaner Production. 2020. №243. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118531

44. Kuo T. C., Smith S. A Systematic Review of Technologies Involving Eco-Innovation for Enterprises Moving towards Sustainability // Journal of Cleaner Production. 2018. №192. pp. 207–220. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.04.212

45. Kurniawan T.A., Liang X., O'Callaghan E., Goh H.H., Othman M.H.D., Avtar R., Kusworo T.D. Transformation of solid waste management in China: moving towards sustainability through digitalization-based circular economy // *Sustainability*. 2022. №14. DOI: 10.3390/su14042374.
46. Leen G., Vrancken K., Manshoven S. Transition Thinking and Business Model Innovation-towards a Transformative Business Model and New Role for the Reuse Centers of Limburg, Belgium // *Sustainability (Switzerland)*. 2016. №8 (2). DOI:10.3390/su8020112.
47. Liao Y., Deschamps F., Loures E.F.R., Ramos L. F. P. Past, Present and Future of Industry 4.0 - A Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal // *International Journal of Production Research*. 2017. № 55 (12) pp. 3609–3629. DOI:10.1080/00207543.2017.1308576.
48. Linder M., Sarasini S., van Loon P. A metric for quantifying product-level circularity // *Journal of Industrial Ecology*. 2017. №21(3). pp. 545–558 DOI: 10.1111/jiec.12552
49. Lorenzo B. Industry 4.0: Hope, Hype or Revolution? // 3rd IEEE International Forum on Research and Technologies for Society and Industry. 2017. pp. 1–5. DOI: 10.1109/RTSI.2017.8065927.
50. Luttenberger L.R. Waste management challenges in transition to circular economy—case of Croatia // *Journal of Cleaner Production*. 2020. № 256. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120495.
51. Ma J., Harstvedt J. D., Dunaway D., Bian L., Jaradat R. An Exploratory Investigation of Additively Manufactured Product Life Cycle Sustainability Assessment // *Journal of Cleaner Production*. 2018. №192. pp. 55–70. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.04.249.
52. Mashhadi R. A., Behdad S. Ubiquitous Life Cycle Assessment (U-LCA): A Proposed Concept for Environmental and Social Impact Assessment of Industry 4.0 // *Manufacturing Letters*. 2018. №15. pp. 93-96. DOI: 10.1016/j.mfglet.2017.12.012.
53. Mayer A., Haas W., Wiedenhofer D., Krausmann F., Nuss P., Blengini G. A. Measuring progress towards a circular economy: A monitoring framework for economy-wide material loop closing in the EU28. // *Journal of Industrial Ecology*. 2018. №132. DOI: 10.1111/jiec.12809.

54. McDowall W., Geng Y., Huang B., Barteková E., Bleischwitz R., Türkeli S., Kemp R., Doménech T. Circular economy policies in China and Europe // *Journal of Industrial Ecology*. 2017. № 21 (3). pp. 651-661. DOI: 10.1111/jiec.12597.
55. Menon K., Kärkkäinen H., Gupta J. P. Role of Industrial Internet Platforms in the Management of Product Lifecycle Related Information and Knowledge // *In Product Lifecycle Management for Digital Transformation of Industries*. 2016. pp. 549–558. DOI:10.1007/978-3-319-54660-5_49.
56. Menon K., Kärkkäinen H., Wuest T., Gupta J. P. Industrial Internet Platforms: A Conceptual Evaluation from a Product Lifecycle Management Perspective. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B // Journal of Engineering Manufacture*. 2018. pp.1–12. DOI:10.1177/0954405418760651.
57. Mesa J, Esparragoza I, Maury H. Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model // *Journal of Cleaner Production*. 2018. №196. pp. 1429–1442. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.131.
58. Milford R.L., Pauliuk S., Allwood J.M., Müller D.B. The roles of energy and material efficiency in meeting steel industry CO2 targets // *Environ. Sci. Technol*. 2013. №47 (7). pp. 3455-3462. DOI: 10.1021/es3031424.
59. Ministry of Natural Resources of Russia. On environmental protection of the Russian Federation in 2020. URL https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/
60. Moraga G., Huysveld S., Mathieux F., Blengini G.A., Alaerts L., van Acker K., de Meester S., Dewulf J. Circular economy indicators: what do they measure? // *Resour Conserv Recycl*. 2019. №146. pp. 452–461. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.03.045.
61. Müller J., Panarotto M., Malmqvist J., Isaksson O. Lifecycle Design and Management of Additive Manufacturing Technologies // *Procedia Manufacturing*. 2018. №19. pp.135–142. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.01.019.
62. Mura L., Gontkovicova B., Spisakova E.D., Hajduova Z. Position of employee benefits in remuneration structure // *Transformations in business & economics*. 2019. №2 (47). pp. 156-173.

63. Nadoushani Z.S.M., Akbarnezhad A. Effects of structural system on the life cycle carbon footprint of buildings // *Energy and Buildings*. 2015. №102. pp. 337-346. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.05.044.
64. Närvänen M., Mattila N. Mesiranta Institutional work in food waste reduction: start-ups' role in moving towards a circular economy // *Industrial Marketing Management*. 2021. №93. pp. 605-616. DOI: 10.1016/j.indmarman.2020.08.009.
65. Neligan A. Two years later: The EU circular economy package: An update, IW Policy Papers. Cologne: German Economic Institute (IW). URL: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/policy_papers/PDF/2018/IW-Policy-Paper_2018_9_The_Circular_Economy_Package
66. Nikolaou I.E., Jones N., Stefanakis A.I. Circular economy and sustainability: the past, the present and the future directions // *Circular Economy and Sustainability*. 2021. №1. pp. 1-20. DOI: 10.1007/s43615-021-00030-3.
67. Nobre C., Tavares E. Scientific Literature Analysis on Big Data and Internet of Things Applications on Circular Economy: A Bibliometric Study // *Scientometrics*. 2017. №111 (1). pp. 463–492. DOI:10.1007/s11192-017-2281-6.
68. Okechukwu O., Salonitis K., Charnley F., Moreno M., Turner C., Tiwari A. Digitisation and the Circular Economy: A Review of Current Research and Future Trends // *Energies (Switzerland)*. 2018. №11 (11). DOI:10.3390/en11113009.
69. O'Neill A. Largest countries in the world URL <https://www.statista.com/statistics/262955/largest-countries-in-the-world/>
70. Padilla-Rivera A., do Carmo B.B.T., Arcese G., Merveille N. Social circular economy indicators: selection through fuzzy delphi method // *Sustain Prod Consum*. 2021. №26. pp. 101–110. DOI: 10.1016/j.spc.2020.09.015.
71. Palie S., Hemel S., Lettice F., Adams R., Evans S. Pre-Paradigmatic Status of Industrial Sustainability: A Systematic Review // *International Journal of Operations & Production Management*. 2017. №37 (10). pp.1425–1450. DOI: 10.1108/IJOPM-02-2016-0058.

72. Parchomenko A, Nelen D, Gillabel J, Rechberger H. Measuring the circular economy - A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics // Journal of Cleaner Production. 2019. №210. pp. 200–216. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.357.
73. Patala S., Salmi A., Bocken N. Intermediation dilemmas in facilitated industrial symbiosis // Journal of cleaner production. 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121093.
74. Pauliuk S. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations // Resour Conserv Recycl. 2018. № 129. pp. 81–92. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.019
75. Pauliuk S. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001: 2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations // Resources, Conservation and Recycling. 2018. №129. pp. 81–92. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.01
76. Reuter M. A., Matuszewicz R., van Schaik A. Lead, Zinc and Their Minor Elements: Enablers of a Circular Economy // World of Metallurgy – ERZMETALL. 2015. №68 (3). pp. 134–148.
77. Rincón-Moreno J, Ormazábal M., Álvarez M.J., Jaca C. Advancing circular economy performance indicators and their application in Spanish companies // Journal of Cleaner Production. 2021. №279. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123605.
78. Rodriguez-Anton J.M., Rubio-Andrada L., Celemín-Pedroche M.S., Alonso-Almeida M.D.M. Analysis of the relations between circular economy and sustainable development goals // Int J Sust Dev World. 2019. №26(8). pp. 708–720. DOI: 10.1080/13504509.2019.1666754
79. Rossi E, Bertassini AC, Ferreira, C.d.S., Neves do Amaral, W.A., Ometto, A.R. Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: plastic, textile and electro-electronic cases // Journal of Cleaner Production. 2020. №247. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119137.
80. Rübmann M., Lorenz P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M. Industry 4.0 // The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. 2015. DOI: 10.1007/s12599-014-0334-4.

81. Saidani M., Yannou B., Leroy, Y., Cluzel F., Kendall A. A taxonomy of circular economy indicators // *Journal of Cleaner Production*. 2018. №207. pp. 542–559. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.014.
82. Salmenperä H., Pitkänen K., Kautto P., Saikku L. Critical factors for enhancing the circular economy in waste management // *Journal of cleaner production*. 2021. №280. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124339.
83. Sassanelli C., Rosa P, Rocca R., Terzi S. Circular economy performance assessment methods: a systematic literature review // *Journal of Cleaner Production*. 2019. №229. pp. 440–453. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.019.
84. Sauerwein M., Bakker C. A., Balkenende A. R. Additive Manufacturing for Circular Product Design: A Literature Review from a Design Perspective. // *In PLATE 2017 - Product Lifetimes and the Environment Conference*. 2017. pp. 358–364. DOI:10.3233/978-1-61499-820-4-358.
85. Schmidt M., Merklein M., Bourell D., Dimitrov D., Hausotte T., Wegener K., Overmeyer L., Vollertsen F., Levy G. N. Laser Based Additive Manufacturing in Industry and Academia // *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2017. №66 (2). pp.561–583. DOI: 10.1016/j.cirp.2017.05.011.
86. Silva L.F., Guevara A.J.H., Gonzalez E.D.S., Oliveira P.S.G. Evolution toward environment sustainable behavior: search for survival in the plastic industry in Brazil // *Environment, Development and Sustainability*. 2019. 21 (3). pp. 1291-1320. DOI: 10.1007/s10668-018-0085-3
87. Smol M., Koneczna R. Economic indicators in water and wastewater sector contributing to a circular economy (CE) // *Resours*. 2021. №10 (2). DOI: 10.3390/resources10120129.
88. Smol M., Kulczycka J., Avdiushchenko A. Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions // *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2017. №19(3). pp. 669–678. DOI: 10.1007/s10098-016-1323-8.
89. Stefanakis A.I., Calheiros C.S., Nikolaou I. Nature-based solutions as a tool in the new circular economic model for climate change adaptation // *Circular Economy and Sustainability*. 2021. №1. pp. 303-318. DOI: 10.1007/s43615-021-00022-3.

90. Suárez-Eiroa B., Fernández E., Méndez-Martínez G., Soto-Oñate D. Operational Principles of Circular Economy for Sustainable Development: Linking Theory and Practice // Journal of Cleaner Production. 2019. pp.952-961. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.271.

91. Syed-Khaja A., Patino Perez P., Franke J. Production and Characterization of High-Temperature Substrates through Selective Laser Melting (SLM) for Power Electronics // In ICSJ 2016 - IEEE CPMT Symposium Japan. 2016. pp. 255–258. DOI:10.1109/ICSJ.2016.7801276.

92. Tecchio P., McAlister, C., Mathieux F., Ardente F. In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach. // Journal of Cleaner Production. 2017. №168. pp. 1533.–1546. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.05.198.

93. The Boston Consulting Group (BCG). The new big circle. Achieving growth and business model innovation through circular economy implementation. https://docs.wbcsg.org/2018/01/The_new_big_

94. Tingley D.D., Davison B. Developing an LCA methodology to account for the environmental benefits of design for deconstruction // Building and Environment. 2012. №57. P. 387-395. DOI: 0.1016/j.buildenv.2012.06.005.

95. Wang Y., Zhang M., Zuo Y. Potential Applications of IoT-Based Product Lifecycle Energy Management // In ICIEA 2016 - 11th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. 2016. DOI:10.1109/ICIEA.2016.7603917.

96. Zorpas A.Z., Lasaridi K., Pociovalisteanu D.M., Loizia P. Monitoring and evaluation of prevention activities regarding household organics waste from insular communities // Journal of cleaner production. 2018. №172. pp. 3567-3577. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.155.

Для цитирования: Полуэктов Т.Ю. Экономика замкнутого цикла как перспективная концепция в области переработки отходов // Московский экономический журнал. 2022. № 8. URL: <https://qje.su/otraslevaya-i-regionalnaya-ekonomika/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-8-2022-41/>