

УДК 620.9

С.А. КАЧАН, к.т.н., доцент (БНТУ)
г. Минск

ПЕРЕХОД К ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА НА ПРИМЕРЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Экономика замкнутого цикла — это системный подход к экономическому развитию, направленный на благо как бизнеса и общества, так и окружающей среды. В отличие от линейной модели, в которой ресурсы добываются, превращаются в полезные продукты, а затем становятся отходами, экономика замкнутого цикла по своей сути является регенеративной и направлена на постепенное отделение экономического развития от линейной динамики добычи, использования и утилизации ограниченных ресурсов [1].

Экологически чистая возобновляемая энергетика использует быстро развивающиеся технологии; среди них — солнечные фотоэлектрические панели и ветряные турбины, внедрение которых в энергосистемы поддерживается широким распространением таких технологий накопления энергии, как аккумуляторные батареи. Ввод в эксплуатацию, техническое обслуживание, а также замена устройств и вспомогательной инфраструктуры требуют значительных ресурсов и критически важного сырья. Рассмотрим некоторые перспективы и возможности экономики замкнутого цикла применительно к упомянутым технологиям возобновляемой энергетики.

В настоящее время образование отходов в изучаемой сфере довольно низкое, поскольку установки являются относительно новыми и, как правило, на данный момент не исчерпали свой срок службы. Однако прогнозируется, что отходы, возникающие в результате использования инфраструктуры возобновляемой энергетики, многократно вырастут в течение уже следующего десятилетия (см. рис. 1) [2].



Рисунок 1. Ожидаемый рост отходов, образующихся в результате использования инфраструктуры возобновляемой энергетики [2]

По оценкам [3], к началу 2030-х годов первое поколение солнечных батарей выйдет из строя; также прогнозируется, что к началу 2050-х годов из эксплуатации будет выводиться до 78 миллионов тонн панелей в год. В это же время на лопасти ветряных турбин будет приходиться 43 миллиона тонн отходов в год [3].

Отходы, возникающие в результате использования инфраструктуры возобновляемых источников энергии, богаты ресурсами и включают редкоземельные элементы, а также такие ценные материалы, как сталь, медь и стекло. Повторное использование этих материалов открывает значительные возможности для сокращения потребления дефицитного сырья в этой отрасли.

В изученном источнике [3] отмечается, что при правильной организации утилизации солнечные панели, выведенные из эксплуатации в 2030 году, могут стать новыми панелями, установленными уже в следующем году.

На рисунке 2 и в таблице 1 показаны перспективные возможности и проблемы повторного использования образующихся отходов инфраструктуры возобновляемой энергетики [2].



Рисунок 2. Возможности использования ежегодно образующихся отходов инфраструктуры возобновляемой энергетики к 2030 г. [2]

Восстановление материалов и их повторное включение в производственный цикл сталкивается со следующими трудностями:

- сложная логистика (большие объемы материалов часто необходимо доставлять из удаленных мест);
- особенности конструкции, которые не обеспечивают упрощение утилизации или переработки;

- сложности переработки из-за использования композиционных материалов, наличия опасных веществ и низких концентраций наиболее ценных элементов;
- неразвитость мощностей и технологий переработки.

Таблица 1. Возможности и проблемы переработки рассматриваемых технологий возобновляемой энергетики [2]

Фотоэлектрические панели	
Возможности	95% материалов могут быть переработаны (например, стекло, медь, алюминий и т.д.).
Проблемы	Ключевыми проблемами при переработке фотоэлектрических элементов как с экономической, так и с технологической точки зрения являются отслоение, отделение и очистка кремния от стекла и тонкой полупроводниковой пленки. Другие проблемы утилизации фотоэлектрических модулей связаны с наличием опасных веществ, таких как кадмий, мышьяк, свинец, сурьма, поливинилфторид и поливинилиденфторид. Сложности также возникают из-за проблем с доступом для работы с панелями, установленными на высоте, что часто не учитывается на этапе проектирования фотоэлектрических систем.
Ветряные турбины	
Возможности	90% массы ресурсов могут быть переработаны (например, сталь, алюминий, медь, чугун и бетон). Критическое сырье (неодим, празеодим, бор, диспрозий и ниобий) может сделать переработку генераторов с постоянными магнитами ветряных турбин прибыльной.
Проблемы	Инфраструктура переработки для лопаток турбин, изготовленных из легких материалов (таких как углеродное волокно, стекловолокно и композитные материалы), все еще находится в стадии разработки; необходимы дальнейшие исследования. Огромный размер лопаток может сделать транспортные расходы непомерно высокими для дальних перевозок на предприятия по переработке.
Аккумуляторные батареи	
Возможности	Все металлы могут быть переработаны. Кобальт и никель могут быть достаточно ценными, чтобы сделать переработку прибыльной. Однако это зависит от уровня цен и количества, которое можно восстановить в батареях. Замыкание цикла может поддерживаться за счет модульной/стандартизированной конструкции, способствующей повторному производству.
Проблемы	Существует множество различных конструкций батарей, требующих специфических и разнообразных подходов к логистике. Инфраструктура для транспортировки и хранения растущего

	<p>количества отработанных батарей недостаточна; следовательно, ее необходимо проработать, чтобы справиться с прогнозируемым большим объемом батарей в будущем.</p> <p>Экономическая эффективность утилизации батарей может быть затруднена из-за колебаний стоимости материалов.</p> <p>Меры по снижению рисков безопасности «теплового разгона» во время логистики и переработки являются дорогостоящими.</p>
--	---

Внедрение инновационных бизнес-моделей замкнутого цикла также затруднено из-за того, что экологические преимущества использования переработанных материалов еще не полностью учтены в стоимости. Поэтому вторичные материалы должны конкурировать по цене с первичными материалами, зачастую гораздо более дешёвыми.

Тем не менее, идеи замкнутого цикла уже начинают воплощаться в жизнь. Так, компания Siemens Gamesa недавно объявила о выпуске первых в мире полностью перерабатываемых лопаток ветряных турбин. Используемая смола позволяет легко отделять различные материалы в конце срока службы лопаток, что даёт возможность впоследствии перерабатывать материалы компонентов [3].

В заключение отметим, что освоение экономики замкнутого цикла (в основе которой лежит ремонт и модернизация оборудования, а также утилизация отслужившей свой срок инфраструктуры и ее повторное использование) может стать основой устойчивого перехода к возобновляемым источникам энергии, а также к экологической нейтральности энергетики.

Список литературы:

1. Velasco-Muñoz, J.F., J.M.F. Mendoza, J.A. Aznar-Sánchez, A. Gallego-Schmid. Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. – Текст: электронный // Resources, Conservation and Recycling : [сайт] Volume 170, 105618. – 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344921002275> (дата обращения 10.03.2023).
2. Emerging waste streams: Opportunities and challenges of the clean-energy transition from a circular economy perspective – Текст: электронный // European Environment Agency: [сайт] . - Published 24 Aug 2021; Last modified 10 Feb 2023. – URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emerging-waste-streams-opportunities-and> (дата обращения 10.03.2023).
3. 3 ways the circular economy is vital for the energy transition . – Текст: электронный // CIRCULAR ECONOMY : [сайт] – Feb 23, 2022. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/02/3-ways-circular-economy-renewables-energy-transition/> (дата обращения 10.03.2023).