

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ НА УРОВНЕ СУБЪЕКТА ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ

А.В. Становская*

Аннотация. Обоснована актуальность перехода к экономике замкнутого цикла (циркулярной) в условиях нарастающих экологических вызовов и угроз устойчивому развитию. Разработан методический инструментарий оценки развития циркулярной экономики на микроуровне, включающий методики определения индекса готовности организации (предприятия) к циркулярной трансформации и интегрального индекса уровня ее развития. Приведена апробация авторских разработок по оценке циркулярной экономики в ряде организаций машиностроения, предложены направления совершенствования ее развития.

Ключевые слова: циркулярная экономика, циркулярные бизнес-модели, ресурсоэффективность, воздействие на окружающую среду.

JEL-классификация: L62, Q51, Q53, Q57.

DOI: 10.46782/1818-4510-2024-4-96-109

Материал поступил 11.11.2024 г.

Согласно докладу «Прогнозная оценка мирового ресурсного потенциала – 2024»¹ (Global Resources Outlook – 2024), подготовленному Международной группой по ресурсам, в настоящее время мир находится в начале нового витка экологического кризиса, вызванного изменением климата, утратой биоразнообразия и загрязнением окружающей среды (воздушного и водного бассейнов, земельных ресурсов), накоплением отходов. Одна из основных причин сложившейся ситуации – рост объемов потребления материальных ресурсов: только за последние 6 лет (2018–2023 гг.) человечество использовало более 500 млрд т материалов, что составляет 28% объема всех ресурсов, потребленных с 1900 г.² Ожидается, что спрос на ресурсы будет про-

должать увеличиваться. Дальнейшее развитие по текущему направлению может привести к катастрофическим последствиям, угрожающим целостности биосферы и жизни на Земле.

В данном контексте приобретает большое значение переход к циркулярной экономике (ЦЭ), или экономике замкнутого цикла, которая представляет собой конструктивную практику повышения ресурсоэффективности и снижения антропогенного давления на окружающую среду в целях достижения устойчивого эколого-экономического развития. Развитие ЦЭ позволяет достичь эффекта декарпинга, т. е. рассогласования темпов роста экономики и потребления природных ресурсов (или загрязнения окружающей среды), что возможно благодаря реализации бизнес-моделей по переработке отходов, промышленному симбиозу, продлению жизненного цикла товара, изменениям в продукте и процессах его производства и потребления и др.

¹ URL: https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/gro24_full_report_1mar_final_for_web.pdf

² URL: <https://www.circularity-gap.world/2024>

* Становская Анастасия Владимировна (anastan01@yandex.ru), кандидат экономических наук, Белорусский государственный экономический университет (г. Минск, Беларусь); <https://orcid.org/0000-0001-9340-2014>

Для цитирования: Становская А.В. 2024. Методическое обеспечение оценки развития циркулярной экономики на уровне субъекта хозяйствования. *Белорусский экономический журнал*. № 4. С. 96–109. DOI: 10.46782/1818-4510-2024-4-96-109

Циркулярная трансформация экономики требует действий как на уровне *государства* (правовое регулирование развития экономики замкнутого цикла, экономическое стимулирование реализации циркулярных практик), так и *отдельной организации* (имплементация циркулярных принципов в деятельность субъекта хозяйствования), а также *домохозяйства* (изменение паттернов поведения). На наш взгляд, важно уделить внимание переходу организаций к ЦЭ, поскольку именно на предприятии закладываются такие характеристики продукции, как долговечность, ремонтпригодность, возможность переработки, экологичность и пр., что определяет возможность продления жизненного цикла товара и вовлечения вторичных материальных ресурсов в хозяйственный оборот. Кроме этого, промышленные предприятия являются одним из основных источников негативного воздействия на окружающую среду.

Переход к экономике замкнутого цикла на микроуровне позволяет не только достичь экологического результата в виде сокращения эмиссии вредных веществ и повышения эффективности использования ресурсов, но и получить дополнительный доход от реализации побочных продуктов производства и вторичного сырья, расширения сервисной деятельности (по ремонту, модернизации, техническому обслуживанию продукции), выхода на новые сегменты рынка экологичных товаров и услуг.

Целью настоящей статьи является разработка и апробация методического инструментария оценки развития ЦЭ на локальном уровне (на примере организаций машиностроения), а также разработка рекомендаций по совершенствованию развития экономики замкнутого цикла на отечественных машиностроительных предприятиях.

Методический инструментарий оценки развития ЦЭ на микроуровне

Для определения текущего уровня развития ЦЭ в организации (на предприятии), мониторинга прогресса в этой области и проведения компаративного анализа успешности внедрения циркулярных практик в других организациях, необходима разработка

специального методического инструментария. Отдельные методические и практические аспекты оценки ЦЭ на микроуровне отражены в работах экспертов Ellen MacArthur Foundation³, исследователей (Azevedo, Godina, Matias, 2017; Jayakodi, Senaratne, Perera, Bamdad, 2024; Reigado, Fernandes, Barrera Saavedra, Ometto, 2017; Гурьева, 2020; Пахомова, Рихтер, Ветрова, 2017) и др.

В работе (Становская, 2021) проведен аналитический обзор и сравнение наиболее распространенных методических подходов к оценке экономики замкнутого цикла на локальном уровне. В результате исследования были выделены проблемные области оценки ЦЭ: узость трактовки, акцентирование внимания только на сфере обращения с отходами, неопределенность интерпретации итоговых показателей, игнорирование роли циркулярной экономики в проявлении эффекта декарпинга (что может выражаться в повышении показателей ресурсоэффективности производства).

С учетом вышеизложенного, для оценки развития ЦЭ на уровне субъектов хозяйствования нами предлагается определять:

индекс готовности организации (предприятия) к циркулярной трансформации (Readiness Index for Circular Transformation);

интегральный индекс уровня развития циркулярной экономики на микроуровне (Integral Index of the Development of the Circular Economy at the Micro level).

Новизна разработанного инструментария заключается в обосновании комплекса показателей для характеристики организационных и производственно-технических факторов реализации циркулярных практик и бизнес-моделей.

Индекс готовности организации (предприятия) к циркулярной трансформации (RICT) позволяет качественно оценить созданные в организации (на предприятии) предпосылки и условия для перехода к циркулярной экономике. Для расчета индекса используются 16 показателей, объединенных в 3 группы: 1) стратегическое видение организации (предприятия); 2) реализация практик циркулярной эко-

³ URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Circularity-Indicators-Methodology.pdf>

номики; 3) поддержка перехода к ЦЭ (табл. 1). Каждый показатель оценивается по бинарной системе: 1 – наличие фактора, 0 – отсутствие.

Расчет индекса готовности:

$$RICT = \frac{\sum_{n=1}^m R_n}{m} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где R_n – оценка n -го показателя по бинарной системе (0 – отсутствие фактора, 1 – наличие);

m – количество показателей, используемых для расчета индекса готовности к циркулярной трансформации.

Отметим, что ни одна из групп показателей не имеет приоритета. Так, если у организации отсутствует стратегическое видение в части циркулярной трансформации, возникнут сложности с определением приоритетных направлений развития и целевых показателей реализации циркулярных практик, необходимых для снижения экодеструктивного воздействия и повышения ресурсоэффективности на различных

этапах производственно-потребительского цикла. В случае отсутствия поддержки перехода к ЦЭ, предпринятые усилия по имплементации циркулярных принципов не принесут ожидаемых результатов и организация не сможет существенно повысить свой уровень ЦЭ.

Индекс может принимать значения от 0 до 100%, градация значений $RICT$, их уровни и соответствующие им характеристики представлены в табл. 2.

Предложенный индекс отличается простотой расчета с использованием доступной информации и может быть использован менеджментом для первоначального определения текущего положения организации при переходе к ЦЭ, а также выявления возможных направлений улучшения условий развития экономики замкнутого цикла в организации. Однако полагаем, что для комплексной оценки развития ЦЭ на локальном уровне также требуется использование *интегрального индекса уровня развития ЦЭ на микроуровне (IDCE-Micro)*. Этот индекс позволяет оценить эффективность

Таблица 1

Показатели индекса готовности организации (предприятия) к циркулярной трансформации

Группа показателей	Показатель (наличие или отсутствие)
Стратегическое видение организации (предприятия)	Имплементация принципов ЦЭ в стратегию развития организации (предприятия) или наличие стратегии перехода к циркулярной экономике
Реализация практик ЦЭ	Оказание услуг по:
	техническому обслуживанию продукции;
	гарантийному, текущему и капитальному ремонту продукции
	Производство ремонтных комплектов / запасных частей к продукции
	Реализация бизнес-модели «продукт как услуга»
	Наличие системы повторно-последовательного или оборотного водоснабжения
	Использование организацией:
	уловленных загрязняющих веществ;
Поддержка перехода к ЦЭ	отходов собственного производства;
	отходов стороннего производства;
	энергии от возобновляемых источников энергии
	Передача другим хозяйствующим субъектам для использования:
	сточных вод;
	отходов производства
	Наличие в организации руководства по экологическим требованиям для поставщиков материалов и комплектующих
	Наличие системы экологического менеджмента, соответствующей требованиям стандарта ИСО 14001
	Осуществление экологических инноваций
	Обучение сотрудников в области охраны окружающей среды

Источник. Авторская разработка.

Таблица 2

Интерпретация значений индекса готовности к циркулярной трансформации

Значение индекса, %	Уровень	Характеристика
0–20,99	Низкий	Практически отсутствуют предпосылки для перехода к ЦЭ, менеджмент не рассматривает циркулярную трансформацию как вектор развития бизнеса
21,0–40,99	Ниже среднего	Фрагментарно реализуются некоторые циркулярные практики для более эффективного использования ресурсов и продления жизненного цикла продукции, отсутствует большинство условий перехода к ЦЭ
41,0–60,99	Средний	Созданы некоторые условия для циркулярной трансформации, реализуется несколько практик экономики замкнутого цикла, однако менеджмент и персонал организации недостаточно осведомлены о преимуществах развития ЦЭ
61,0–80,99	Выше среднего	Организация имплементирует некоторые принципы ЦЭ в свою деятельность, воздействие организации на окружающую среду постепенно снижается, персонал в достаточной степени владеет информацией о целях, задачах и путях циркулярной трансформации
81,0–100	Высокий	Реализуются бизнес-модели ЦЭ, переход к экономике замкнутого цикла определен руководством в качестве приоритетного направления развития бизнеса, экодеструктивное воздействие продукции организации на протяжении производственно-потребительского цикла минимально

Источник. Авторская разработка.

использования ресурсов организации (предприятия) и степени замыкания потоков веществ. Автором предлагается рассчитывать *IDCE-Micro* на основе двух субиндексов: «Воздействие на окружающую среду»; «Ресурсоэффективность».

Субиндекс «Воздействие на окружающую среду» формируется на основе пяти индикаторов (показателей). Данные показатели по отдельности позволяют судить о приближении к низкоуглеродной экономике и снижении зависимости от традиционных источников энергии, технической оснащенности организации для применения природоохранных технологий в области охраны атмосферного воздуха и водных ресурсов, успешности внедрения циркулярного принципа Recycle (переработка отходов и получение продукции из вторичных ресурсов), а также взаимодействия с другими организациями (предприятиями) в области промышленного симбиоза.

Так как на начальном этапе развития циркулярной экономики может реализоваться только часть практик по «замыканию» потоков ресурсов, то есть некоторые индикаторы могут иметь нулевую оценку, предлагается определять субиндекс «Воздействие на окружающую среду» (C^I) как

среднее арифметическое пяти входящих в него показателей:

$$C^I = \frac{C_1^I + C_2^I + C_3^I + C_4^I + C_5^I}{5}, \quad (2)$$

где C_1^I – доля производства электрической энергии за счет использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем объеме производства электрической энергии, %;

C_2^I – доля использованных загрязняющих веществ, уловленных газоочистными установками, в объеме веществ, поступивших на очистные сооружения, %;

C_3^I – доля воды в системах повторного (последовательного) и оборотного водоснабжения в общем объеме использованной воды, %;

C_4^I – доля переданных для использования сточных вод в объеме сточных вод, %;

C_5^I – доля использованных отходов производства (включая полученные и переданные для использования), %.

Субиндекс варьируется от 0 до 100%. Более высокий индекс указывает на меньшее экодеструктивное воздействие, то есть чем выше значение, тем больше «зацикленность» материальных и энергетических потоков в организации.

Субиндекс «Ресурсоэффективность» отражает эффективность использования ресурсов исследуемой организации (предприятия) в сравнении с лучшими в этой области организациями (предприятиями). Ввиду того, что ЦЭ направлена не просто на уменьшение вредного воздействия на окружающую среду, но и на получение экономической выгоды, организации, следующие принципам ЦЭ, будут иметь лучшее соотношение между полезным выпуском и входящим потоком ресурсов (или негативным воздействием на окружающую среду), чем «линейные» организации (предприятия) в том же секторе экономики.

Методика определения субиндекса предполагает использование инструментов бенчмаркинга для сравнительного анализа показателей ресурсоотдачи в исследуемой организации с аналогичными показателями организации-эталона. Выбор эталона осуществляется в соответствии со следующими требованиями:

- организация относится к той же отрасли экономики;

- организация должна имплементировать принципы ЦЭ в свою деятельность;

- информация об эколого-экономических результатах деятельности организации должна быть доступна;

- показатели ресурсоотдачи производства должны превышать аналогичные показатели у рассматриваемых организаций.

Организация-эталон может быть выбрана для определения как всех показателей, входящих в субиндекс, так и для каждого показателя в отдельности. В случае, если значения индикаторов в группе «Ресурсоэффективность» превышают 1, то индикатор принимается равным 1, а организация по данному показателю ресурсоэффективности считается эталонной. Входящие в субиндекс «Ресурсоэффективность» индикаторы представлены в табл. 3.

Результаты оценки индикаторов данной группы позволяют сделать выводы о степени близости или отставания исследуемой организации (предприятия) в эффективности использования ресурсов в сравнении с лучшими циркулярными организациями аналогичного вида деятельности.

Для расчета субиндекса «Ресурсоэффективность» используется средняя геометрическая величина частных индикаторов, что позволяет в итоговом показателе снизить компенсацию низких значений одного индикатора высокими значениями другого, в отличие от средней арифметической. Расчет субиндекса производится по формуле:

$$C'' = \sqrt[3]{C_1'' \cdot C_2'' \cdot C_3''} \cdot 100\% \quad (3)$$

Значения субиндекса «Ресурсоэффективность» могут изменяться от 0 до 100%. Чем выше значение субиндекса, тем выше эффективность использования ресурсов организации (предприятия).

Для оценки уровня развития ЦЭ в организации (на предприятии), т. е. расчета *IDCE-Micro*, значения субиндексов «Воздействие на окружающую среду» и «Ресурсоэффективность» объединяются. Поскольку замыкание материальных циклов и повышение эффективности использования ресурсов являются неотъемлемыми составляющими ЦЭ, эти субиндексы оказывают одинаковое влияние на значение интегрального индекса, т. е. имеют равные веса.

Расчет *IDCE-Micro* осуществляется путем вычисления среднего геометрического значений субиндексов.

Величина интегрального индекса *IDCE-Micro* варьируется от 0 до 100%. Чем выше его значение, тем выше уровень развития ЦЭ конкретной организации. Градация значений интегрального индекса и соответствующие им характеристики представлены в табл. 4.

Определение интегрального индекса уровня развития экономики замкнутого цикла на микроуровне даст возможность:

- осуществлять мониторинг эффективности внедрения циркулярных принципов в организации для своевременного принятия и корректировки управленческих решений;

- проводить бенчмаркинг организации (предприятия) как по отдельным элементам индекса, так и по уровню развития ЦЭ в целом, в сравнении с достижениями других организаций отрасли;

- создать основу для стратегического планирования развития организации.

Система показателей субиндекса «Ресурсоэффективность»

Обозначение	Индикатор субиндекса «Ресурсоэффективность» C^{II}	Формула	Характеристика
C_1^{II}	Сравнительная водоотдача	$\frac{B_A}{V_{\text{вод}A}} / \frac{B_{\text{Э}}}{V_{\text{вод}Э}},$ где B_A и $B_{\text{Э}}$ – объем производства (реализации) продукции в сопоставимых ценах в анализируемой организации и в организации-эталоне соответственно, тыс. долл. по ППС*; $V_{\text{вод}A}$ и $V_{\text{вод}Э}$ – годовой объем использования воды (свежей и оборотной) в анализируемой организации и в организации-эталоне, соответственно, м³	Отражает сопоставление стоимости произведенной или реализованной продукции, полученной с единицы использованных водных ресурсов, в исследуемой организации и организации-эталоне
C_2^{II}	Сравнительная энергоотдача	$\frac{B_A}{V_{\text{ЭР}A}} / \frac{B_{\text{Э}}}{V_{\text{ЭР}Э}},$ где $V_{\text{ЭР}A}$ и $V_{\text{ЭР}Э}$ – расход энергетических ресурсов в анализируемой организации и в организации-эталоне, соответственно, кВт·ч	Позволяет сопоставить результаты хозяйственной деятельности с расходом энергетических ресурсов в исследуемой организации и организации-эталоне
C_3^{II}	Сравнительная отхомотдача (по захоронению отходов)	$\frac{B_A}{V_{\text{з.от}A}} / \frac{B_{\text{Э}}}{V_{\text{з.от}Э}},$ где $V_{\text{з.от}A}$ и $V_{\text{з.от}Э}$ – объем отходов производства, переданных на захоронение в анализируемой организации и в организации-эталоне, соответственно, т	Соотносит стоимость произведенной или реализованной продукции с объемом отходов, подлежащих захоронению, в исследуемой организации и организации-эталоне. С точки зрения ЦЭ, необходимо не только минимизировать объем отходов производства, но и максимально полно использовать уже имеющиеся, а значит, сокращать объем отходов, подлежащих захоронению

ППС* – паритет покупательной способности.

Источник. Авторская разработка.

Комплексная оценка развития ЦЭ в организации промышленности возможна при сопоставлении значений индекса *RICT* и *IDCE-Micro*. Рассмотрим три ситуации:

существенное превышение RICT над IDCE-Micro (более 20%) свидетельствует об имеющемся потенциале в области эффек-

тивного использования ресурсов и замыкания материальных циклов, т. е. в организации (на предприятии) существуют некоторые организационные и производственно-технические факторы, необходимые для перехода к ЦЭ, однако их действия недостаточно, чтобы оказать существенное влияние на уровень развития ЦЭ;

Интерпретация значений показателя *IDCE-Micro*

Значение показателя, %	Уровень развития ЦЭ	Характеристика
0–20,99	Низкий	Организация функционирует по линейному производственно-потребительскому циклу. Недостаточно значимые меры по снижению экодеструктивного воздействия производственных процессов
21,0–40,99	Ниже среднего	Начальный уровень развития ЦЭ в организации. Невысокий уровень использования отходов и уловленных загрязняющих веществ. Начальная степень (или отсутствие) взаимодействия с другими организациями для развития промышленного симбиоза
41,0–60,99	Средний	Трансформация деятельности организации с учетом принципов ЦЭ. Реализация экологических инноваций, позволяющих снизить нагрузку на окружающую среду. Переход к более чистому производству
61,0–80,99	Выше среднего	Производственно-потребительский цикл организации основан преимущественно на циркулярных бизнес-моделях и стремится к максимальному замыканию. Показатели ресурсоотдачи производства близки к эталонным значениям
81,0–100	Высокий	Деятельность организации построена на циркулярных принципах, которые обеспечивают устойчивое производство и потребление. Высокий уровень повторного использования ресурсов, активное взаимодействие с другими организациями в рамках промышленного симбиоза

Источник. Авторская разработка.

приблизительное равенство RICT и IDCE-Micro свидетельствует о том, что усилия менеджмента (или же его бездействие) в развитии циркулярных практик в организации (на предприятии) адекватно отражаются на уровне развития экономики замкнутого цикла;

существенное превышение IDCE-Micro над RICT (более 20%) указывают на то, что в организации реализуются определенные мероприятия по ресурсосбережению и снижению негативного воздействия на окружающую среду, однако руководство и персонал недостаточно информированы о преимуществах ЦЭ и не обладают системным представлением о циркулярной трансформации организации (предприятия).

Оценка развития экономики замкнутого цикла на локальном уровне (на примере организаций машиностроения)

Разработанный методический инструментарий позволил провести сравнительное исследование развития ЦЭ на отечественных предприятиях машиностроения. Оценка проводилась по следующим организациям:

ОАО «Завод по производству тормозной аппаратуры и механизмов» (ОАО «ТАиМ»);

ОАО «Барановичский автоагрегатный завод» (ОАО «БААЗ»);

ОАО «Кузнечный завод тяжелых штамповок» (ОАО «КЗТШ»);

ОАО «Гомельский завод литья и нормалей» (ОАО «ГЗЛиН»);

ЗАО «Амкодор-Пинск»;

ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод» (ОАО «УКХ «ММЗ»).

Для перечисленных организаций были определены индексы *RICT* и *IDCE-Micro* за 2019–2021 гг. Такой интервал обусловлен наличием данных как по белорусским машиностроительным организациям, так и по зарубежным организациям, которые были выбраны в качестве эталонов для расчета субиндекса «Ресурсоэффективность» (табл. 5).

Полученные данные *RICT* указывают на то, что исследуемые предприятия машиностроения в целом не готовы к переходу к ЦЭ. У них отсутствует системное понимание циркулярной трансформации, хотя внедрены некоторые технологические решения, позволяющие «замкнуть» циклы веществ в производственном процессе. Тем не менее, существует значительный потенциал для повышения ресурсоэффективности и снижения воздействия на окружающую

Таблица 5

Индекс *RICT* для исследуемых организаций машиностроения

Предприятие	Значение индекса, %	Интерпретация	Место
ОАО «ТАиМ»	54,17	Средний	2
ОАО «БА АЗ»	37,50	Ниже среднего	4
ОАО «КЗТШ»	23,08	Ниже среднего	6
ОАО «ГЗЛиН»	62,50	Выше среднего	1
ЗАО «Амкодор-Пинск»	31,25	Ниже среднего	5
ОАО «УКХ «ММЗ»	43,75	Средний	3

Источник. Авторская разработка по результатам исследования.

щую среду как в процессе производства, так и на протяжении всего производственно-потребительского цикла.

В частности, на выбранных предприятиях машиностроения никак не используются ВИЭ. Возобновляемая энергия крайне важна для реализации менее углеродоемкой модели развития и повышения экологической устойчивости производства. Частичное удовлетворение энергопотребностей машиностроительного предприятия за счет ВИЭ (например, использование солнечных коллекторов и фотоэлектрических преобразователей) позволит диверсифицировать риски, связанные с энергоснабжением, и улучшить репутацию организации среди заинтересованных сторон.

В то же время на исследуемых предприятиях выполняются некоторые требования ЦЭ в области продления жизненного цикла товаров, в частности, проектируется ремонтпригодная продукция, налажено производство запасных частей и ремкомплектов, имеется оборудование для проведения технического обслуживания, текущего и капитального ремонта продукции. Кроме того, на всех рассматриваемых предприятиях (кроме ЗАО «Амкодор-Пинск») внедрены системы повторно-последовательного или обратного водоснабжения, что позволяет более эффективно использовать водные ресурсы. Все шесть предприятий передают отходы производства сторонним организациям для дальнейшего использования, а четыре из них используют отходы в хозяйственной деятельности.

При сравнении предприятий можно отметить, что наиболее высокая готовность к циркулярной трансформации наблюдалась у ОАО «ГЗЛиН», где осуществляется боль-

ше циркулярных практик как по «замыканию» материалов в производственном цикле, так и по продлению жизненного цикла продукта. Самые низкие показатели *RICT* отмечаются у ОАО «КЗТШ», где, несмотря на наличие практик повторного использования ресурсов (воды и отходов производства), отсутствует организационная основа (система экологического менеджмента, повышение квалификации персонала в области охраны окружающей среды, экоинновационная деятельность), позволяющая в перспективе экологизировать развитие предприятия.

Если индекс *RICT* позволяет судить о наличии или отсутствии ряда факторов, необходимых для перехода предприятия к экономике замкнутого цикла, то интегральный индекс *IDCE-Micro* (состоящий из субиндексов «Воздействие на окружающую среду» и «Ресурсоэффективность») предназначен для оценки эффективности использования ресурсов предприятия и степени замыкания потоков веществ.

Значения субиндекса «Воздействие на окружающую среду» на исследуемых предприятиях машиностроения в 2019–2021 гг. приведены в табл. 6.

В исследуемом периоде наблюдался рост субиндекса «Воздействие на окружающую среду» почти у всех предприятий, что объясняется в основном незначительным увеличением доли используемых отходов производства в общем объеме их образования и доли оборотной воды в общем объеме потребления воды. Для исследуемых предприятий значение субиндекса не превышает 39%, что свидетельствует о невысоком уровне «зацикливания» материальных потоков в организациях.

Субиндекс «Воздействие на окружающую среду» для исследуемых организаций машиностроения

Предприятие	Значение субиндекса, %	Интерпретация	Место
ОАО «ТАиМ»	29,52	Ниже среднего	3
ОАО «БААЗ»	17,90	Низкий	4
ОАО «КЗТШ»	6,16	Низкий	6
ОАО «ГЗЛиН»	36,46	Ниже среднего	1
ЗАО «Амкодор -Пинск»	17,76	Низкий	5
ОАО «УКХ «ММЗ»	35,30	Ниже среднего	2

Источник. Авторская разработка по результатам исследования.

Наиболее высокие значения субиндекса – у ОАО «ГЗЛиН» (в среднем 36,5%), где реализуется больше, чем на других предприятиях, циркулярных практик; наименьшее – у ОАО «КЗТШ» (6,16%), где доля использованных отходов в общем объеме их образования минимальна и объем повторно используемой воды составляет небольшую часть от общего объема потребляемой воды.

При обращении с отходами производства следует отметить значительные успехи предприятий в регенерации отходов (своими силами или сторонней организацией). Так, в 2021 г. на пяти из шести анализируемых предприятий было использовано или передано для использования более 75% образовавшихся отходов производства, а в ЗАО «Амкодор-Пинск» показатель достигл почти 90%.

На значение субиндекса также оказало влияние широкое внедрение на предприятиях систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения. В ОАО «ТАИМ», ОАО «ГЗЛиН» и ОАО «УКХ «ММЗ» более 80% всей используемой воды функционирует в системах, позволяющих повторно использовать воду после специальной подготовки (охлаждения, очистки), что способствует снижению сброса сточных вод.

Несмотря на благоприятные тенденции в области повторного использования отходов производства и воды, большинство материальных циклов по-прежнему остаются «незамкнутыми». Существует потенциал для использования уловленных загрязняющих веществ, перехода на возобновляемые источники энергии и развития сотрудничества между предприятиями при передаче к использованию сточных вод и отходов производства.

Для расчета субиндекса «Ресурсоэффективность» был проведен поиск предприятий, производящих аналогичную продукцию, заявивших о своих планах по циркулярной трансформации, имеющих открытые данные о финансовых результатах и воздействии на окружающую среду, а также демонстрирующих высокие показатели ресурсоэффективности. Учитывая ограниченное распространение новой циркулярной концепции среди отечественных организаций, поиск не ограничивался только белорусскими предприятиями. Для каждого анализируемого предприятия было подобрано зарубежное предприятие-эталон. В табл. 7 для обоснования выбранного эталона представлено сравнение продукции, производимой исследуемыми отечественными и зарубежными предприятиями машиностроения.

В табл. 8 представлены средние значения субиндекса «Ресурсоэффективность» для исследуемых предприятий машиностроения, рассматриваемых в анализируемом периоде.

Сравнение показателей ресурсоотдачи отечественных машиностроительных предприятий с показателями зарубежных организаций позволяет заключить, что белорусские предприятия получают значительно меньшую выручку на единицу использованных ресурсов или образованных отходов. Наименьшие оценки получило ОАО «ГЗЛиН», у которого на 1 м³ использованной воды (свежей и оборотной) приходится 19 долл. США (по ППС) выручки, в то время как в организации, выбранной для сопоставления, выручка достигает 1,7 тыс. долл. США / м³. Наиболее высокие оценки среди анализируемых организаций у ОАО «КЗТШ», которое

Таблица 7

Продукция исследуемых отечественных и зарубежных организаций машиностроения

Белорусское предприятие	Предприятие-эталон
ОАО «ТАИМ» является производителем пневмотормозных аппаратов и тормозных механизмов для грузовых автомобилей, автобусов, сельскохозяйственной и прицепной техники. Среди основных видов выпускаемой обществом продукции – тормозные колодки, тормоза в сборе, разжимные кулаки, различная пневмоаппаратура, ресиверы, редукторы, иные виды запасных частей	ZF Friedrichshafen AG – производитель автомобильных компонентов и систем для легковых и грузовых автомобилей, автобусов строительной и сельскохозяйственной техники. Основными продуктами организации являются трансмиссии, подвески, рулевые системы, тормозные системы, электроника и сенсоры, а также гидротрансформаторы, гидромфты, редукторы и пр.
ОАО «БААЗ» специализируется на производстве агрегатов и узлов для грузовой, прицепной, автобусной и сельскохозяйственной техники, а также для подвижного железнодорожного транспорта. Среди выпускаемой продукции – рулевые механизмы, телескопические амортизаторы, насосы гидроусилителя руля, гидродемпферы, буксирные приборы, валы карданные рулевого управления и пр.	
ОАО «КЗТШ» производит поковки и штамповки из сортового проката, штамповки на кривошипно-горячештамповочных прессах, штамповочных молотах, молотах свободной ковки с последующей термообработкой и очисткой, а также лонжероны, картеры заднего моста, балки передней оси, ободья колес	Bharat Forge Limited – специализируется на производстве штамповок для машиностроения и других отраслей. Среди продукции организации – компоненты для двигателей, подвески, трансмиссии, рулевых систем; стальные болты; гайки
ОАО «ГЗЛиН» является производителем прицепной и навесной сельскохозяйственной техники. Среди продукции предприятия – зерноуборочные и кормоуборочные адаптеры для комбайнов, зерновые валковые жатки, прицепные и навесные кормоуборочные комбайны, самоходные косилки и пр.	John Deere производитель сельскохозяйственной техники, включая тракторы, комбайны, хлопкоуборочные комбайны, пресс-подборщики, силосные машины, опрыскиватели и пр.
ЗАО «Амкодор Пинск» – производитель дорожно-строительной, снегоуборочной, торфодобывающей, коммунальной и сельскохозяйственной техники. На предприятии выпускаются экскаваторы-погрузчики, погрузчики фронтальные, машины фрезерные, катки асфальтовые, снегоочистители, машины погрузочные универсальные, техника для добычи торфа, а также автогрейдеры, землевозы и др.	Komatsu специализируется на производстве оборудования для строительной, горнодобывающей, лесной промышленности. Организация производит широкий спектр продукции, включая экскаваторы, бульдозеры, погрузчики, грейдеры и другую технику
ОАО «УКХ «ММЗ» является разработчиком и производителем современных дизельных двигателей для тракторной, сельскохозяйственной, автомобильной, дорожно-строительной и специальной техники	Cummins Inc. – производитель дизельных и газовых двигателей для грузовых автомобилей, строительной, сельскохозяйственной и иной техники

Источник. Авторская разработка на основе: URL: <https://taim.by/WebSite/Home>; URL: <https://baaz.by>; URL: <https://kztsh.by>; URL: <http://gomelzlin.by>; URL: <https://amkodor-pinsk.by>; URL: <https://mmz-motor.by>; URL: <https://www.zf.com/mobile/en/homepage/homepage.html>; URL: <https://www.bharatforge.com>; URL: <https://www.deere.com/en/index.html>; URL: <https://www.komatsu.jp/en>; URL: <https://www.cummins.com>

имеет довольно близкие к эталону показатели водоотдачи (1,5 и 2,6 тыс. долл. по ППС/ м³ соответственно) и энергоотдачи (2,2 и 4,3 долл. по ППС/ кВт·ч соответственно), но уступает по показателю отходаотдачи.

Можно заметить, что ОАО «ГЗЛиН», являющийся лидером среди исследуемых организаций в создании условий для циркулярной трансформации организации и

«замыкания» материальных циклов в производственных процессах, получило наименьшие оценки по показателю ресурсоэффективности. Это может быть связано с низкой добавленной стоимостью, создаваемой в организации.

Отметим небольшую положительную динамику показателей ресурсоотдачи в большинстве исследуемых организаций в анализируемый период, что указывает на

Таблица 8

**Субиндекс «Ресурсоэффективность»
для исследуемых организаций машиностроения**

Организация	Среднее значение субиндекса, %	Интерпретация	Место
ОАО «ТАиМ»	21,65	Ниже среднего	3
ОАО «БААЗ»	20,81	Низкий	4
ОАО «КЗТШ»	29,71	Ниже среднего	1
ОАО «ГЗЛиН»	5,34	Низкий	6
ЗАО «Амкодор-Пинск»	6,70	Низкий	5
ОАО «УКХ «ММЗ»	23,90	Ниже среднего	2

Источник. Авторская разработка по результатам исследования.

медленное и постепенное улучшение эффективности использования ресурсов благодаря совершенствованию производственных технологий, обновлению основных средств, включая оборудование для охраны окружающей среды, и др. Однако темпы таких изменений уступают зарубежным организациям-эталонам, о чем свидетельствует снижение сравнительной ресурсоотдачи за рассматриваемый период для всех организаций, кроме ЗАО «Амкодор-Пинск». Текущие темпы изменений недостаточны для значительного повышения эффективности использования ресурсов и снижения антропогенного воздействия, что создает для отечественных организаций риски, связанные с зависимостью от природных ресурсов и вероятностью аварийного загрязнения окружающей среды.

Важно отметить, что высокие показатели ресурсоэффективности в зарубежных организациях обусловлены следующими факторами.

Во-первых, стремлением зарубежных корпораций сократить негативное воздействие на окружающую среду, что находит отражение в их стратегиях устойчивого развития или аналогичных документах, где цели по снижению антропогенного воздействия тесно связаны с бизнес-целями организации. Это является ответом на современные требования и необходимо для взаимодействия со стейкхолдерами (партнерами, инвесторами и пр.).

Во-вторых, увеличением добавленной стоимости за счет как активной инновационной деятельности и внедрения новых ре-

сурсосберегающих технологий, так и благодаря выпуску конкурентоспособной продукции и расширению доли услуг и работ в общей выручке организации. Послепродажное обслуживание клиентов может включать рекомендации по эффективному использованию продукта, техническое обслуживание и текущий ремонт, а также ремануфактуринг продукта. Опыт зарубежных корпораций показывает, что бизнес, связанный с продлением жизненного цикла продукта, является высоко rentабельным и обеспечивает стабильный доход⁴.

Отметим, что исследование динамики показателей сравнительной ресурсоотдачи имеет важное значение для анализа прогресса белорусских организаций в контексте глобального тренда имплементации циркулярных принципов на микроуровне, а сближение показателей ресурсоотдачи отечественных предприятий с показателями зарубежных организаций может служить одним из критериев эффективности реализации циркулярных практик.

Сопоставление индексов *RICT* и *IDCE-Micro* позволяет комплексно оценить текущее положение в области имплементации циркулярных принципов в организации. Средние за анализируемый период значения индексов, их интерпретация и характеристика развития ЦЭ в исследуемых организациях приведена в табл. 9.

**Рекомендации по совершенствованию
развития циркулярной экономики на
предприятиях машиностроения**

Апробация авторской методики оценки ЦЭ в ряде организаций машиностроения показывает, что имплементация циркулярных принципов в производственной деятельности предприятий отрасли находится на начальном этапе. На отечественных предприятиях

⁴ Особенности бизнес-моделей продления жизненного цикла продукции предприятий: Caterpillar (URL: <https://www.caterpillar.com/en/brands/cat-reman.html>), Oshkosh Corporation (URL: <https://www.oshkoshcorp.com>), Wabash National Corporation (URL: <https://onewabash.com>), ZF Friedrichshafen AG (URL: <https://www.zf.com/mobile/en/homepage/homepage.html>); Deere & Company (URL: <https://www.deere.com/en/index.html>); Komatsu Ltd (URL: <https://www.komatsu.jp/en>); Cummins Inc. (URL: <https://www.cummins.com>).

Таблица 9

Индекс готовности к циркулярной трансформации (*RICT*) и интегральный индекс уровня развития циркулярной экономики на микроуровне (*IDCE-Micro*)

Организация	<i>RICT</i> , %	Уровень <i>RICT</i>	<i>IDCE-Micro</i> , %	Уровень <i>IDCE-Micro</i>	Оценка ЦЭ по показателям индексов
ОАО «ТАиМ»	54,17	Средний	25,25	Ниже среднего	В организации существует потенциал по повышению ресурсоэффективности и «замыканию» циклов, имеющаяся организационная и техническая основа циркулярной трансформации не используется в полной мере
ОАО «БААЗ»	37,50	Ниже среднего	19,29	Низкий	Существующие условия для перехода к экономике замкнутого цикла не используются в достаточной степени, чтобы повлиять на уровень развития ЦЭ
ОАО «КЗТШ»	23,08	Ниже среднего	13,50	Низкий	Соблюдается несколько условий циркулярной трансформации, что не приводит к значительным изменениям эффективности использования ресурсов
ОАО «ГЗЛиН»	62,50	Выше среднего	13,95	Низкий	Созданные в организации условия для перехода к циркулярной экономике используются недостаточно для повышения производительности ресурсов и снижения экодеструктивного воздействия
ЗАО «Амкодор - Пинск»	31,25	Ниже среднего	10,88	Низкий	Удовлетворяется несколько условий для перехода к экономике замкнутого цикла, что не влечет значимых изменений в эффективности использования ресурсов
ОАО «ММЗ»	43,75	Средний	29,0	Ниже среднего	Усилия руководства по «замыканию» циклов отражаются в изменении ресурсоотдачи и воздействия на окружающую среду

Источник. Авторская разработка по результатам исследования

созданы условия для реализации некоторых циркулярных практик, однако этих мер недостаточно для значительного снижения воздействия на окружающую среду и для получения конкурентных преимуществ.

В то же время мировые промышленные лидеры в области машиностроения широко применяют различные подходы, направленные на «замыкание» циклов. Это позволяет им находить новые источники доходов, расширять целевую аудиторию, повышать адаптивность к изменениям внешней среды (таким как колебания цен на сырьевые ре-

сурсы, ужесточение экологических норм и др.) и улучшать имидж своей организации.

Переход к ЦЭ становится глобальным трендом, который нельзя игнорировать. Если белорусские предприятия будут продолжать придерживаться линейной модели экономики, они рискуют упустить возможности для повышения своей конкурентоспособности, развития новых бизнес-направлений, улучшения ресурсоэффективности и снижения экологических рисков.

На основе изучения мировой практики развития ЦЭ на машиностроительных пред-

приятнях⁵ можно выделить ряд подходов, направленных на «замыкание» циклов, имеющих потенциал для внедрения на белорусских предприятиях машиностроения:

переход от философии запланированного устаревания продукции к философии продления ее жизненного цикла;

учет требований к долговечности, ремонтпригодности и надежности при проектировании продукции, а также снижение экодеструктивного воздействия в процессе производства и эксплуатации;

уменьшение веса продуктов, что поможет сократить общее количество используемых материалов и снизить воздействие на окружающую среду;

установка датчиков и других портативных устройств для постоянного мониторинга состояния техники и предотвращения неисправностей;

предоставление комплекса услуг по поддержке жизненного цикла, включая обучение правильной эксплуатации, диагностику производительности, а также техническое обслуживание, ремонт и модернизацию продукции;

восстановление (ремануфактуринг) продукции, которая затем проходит испытания по тем же стандартам безопасности, качества и эффективности, что и новые продукты;

использование многоразовой упаковки для материалов и деталей, которая возвращается поставщику для повторного использования;

применение возобновляемых источников энергии.

⁵ Опыт перехода к циркулярной экономике предприятий: Caterpillar (URL: <https://www.caterpillar.com/en/brands/cat-reman.html>), Dana Limited (URL: <https://www.dana.com>), Gestamp (URL: <https://www.gestamp.com/en/home>), Linamar (URL: <https://www.linamar.com>), Magna International Inc. (URL: <https://www.magna.com>), Oshkosh Corporation (URL: <https://www.oshkoshcorp.com>), Wabash National Corporation (URL: <https://onewabash.com>), ZF Friedrichshafen AG (URL: <https://www.zf.com/mobile/en/homepage/homepage.html>); Bharat Forge (URL: <https://www.bharatforge.com>); Deere & Company (URL: <https://www.deere.com/en/index.html>); Komatsu Ltd. (URL: <https://www.komatsu.jp/en>); Cummins Inc. (URL: <https://www.cummins.com>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

Гурьева М.А. 2020. Разработка и апробация методического инструментария комплексной оценки развития циркулярной экономики. *Вопросы инновационной экономики*. Т. 10. № 3. С. 1425–1448. [Gureva M.A. 2020. Development and Testing of Methodological Tools for Comprehensive Assessment of the Circular Economy Growth. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki*. Vol. 10. No 3. PP. 1425–1448. (In Russ.)] DOI: 10.18334/vinec.10.3.110517

Пахомова Н.В., Рихтер К.К., Ветров М.А. 2017. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. Т. 33. Вып. 2. С. 244–268. [Pakhomova N.V., Richter K.K., Vetrova M.A. 2017. Transition to Circular Economy and Closed-loop Supply Chains as Driver of Sustainable Development. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika*. Vol. 33. Iss. 2. PP. 244–268. (In Russ.)] DOI: 10.21638/10.21638/11701/spbu05.2017.203

Становская А.В. 2021 Методические особенности оценки уровня развития циркулярной экономики предприятия. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки*. № 14. С. 72–80. [Stanovskaya A.V. 2021 Methodological Features of Assessing the Level of Development of the Circular Economy of an Enterprise. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D. Ekonomicheskiye i yuridicheskkiye nauki*. No 14. PP. 72–80. (In Russ.)] DOI: 10.52928/2070-1632-2021-59-14-72-80

Azevedo S.G., Godina R., Matias J.C. 2017. Proposal of a Sustainable Circular Index for Manufacturing Companies. *Resources*. Vol. 6. No 4. PP. 1–24. DOI: 10.3390/resources6040063

Jayakodi S., Senaratne S., Perera S., Bamdad K. 2024. Circular Economy Assessment Using Project-level and Organisation-level Indicators for Construction Organisations: A Systematic Review. *Sustainable Production and Consumption*. Vol. 48. PP. 324–338. DOI: 10.1016/j.spc.2024.05.025

Reigado C., Fernandes S., Barrera Saavedra Y.M., Ometto A. 2017. A Circular Economy Toolkit as an Alternative to Improve the Application of PSS Methodologies. *Procedia CIRP*. No 64. PP. 37–42. DOI: 10.1016/j.procir.2017.03.034

METHODOLOGICAL SUPPORT FOR ASSESSING THE DEVELOPMENT OF A CIRCULAR ECONOMY AT THE LEVEL OF A BUSINESS ENTITY

Anastasia Stanovskaya¹ (<https://orcid.org/0000-0001-9340-2014>)

¹ Belarusian State Economic University (Minsk, Belarus).

Corresponding author: Anastasia Stanovskaya (anastan01@yandex.ru).

ABSTRACT. The relevance of the transition to a closed-loop (circular) economy in the context of increasing environmental challenges and threats to sustainable development is substantiated. A methodological toolkit for assessing the development of a circular economy at the micro level has been developed, including methods for determining the index of an organization's (enterprise's) readiness for circular transformation and the integral index of the level of development of a circular economy. The author's developments for assessing a circular economy in a number of mechanical engineering organizations are tested. Approaches for improving the development of a circular economy in mechanical engineering are proposed.

KEYWORDS: circular economy, circular business models, resource efficiency, environmental impact.

JEL-code: L62, Q51, Q53, Q57.

DOI: 10.46782/1818-4510-2024-4-96-109

Received 11.11.2024

In citation: Stanovskaya A. 2024. Methodological Support for Assessing the Development of a Circular Economy at the Level of a Business Entity. *Belorusskiy ekonomicheskiy zhurnal*. No 4. PP. 96–109. DOI: 10.46782/1818-4510-2024-4-96-109 (In Russ.)

