

МРНТИ 06.71.07
УДК 338.43
JEL A12, O13, Q01, Q18, Q56

<https://doi.org/10.46914/1562-2959-2026-1-1-315-328>

КУНАФИНА Г.Т.,*¹

к.э.н., ассоциированный профессор.

*e-mail: gulzhan-kunafina@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-9646-3493

НУРМУХАМЕТОВ Н.Н.,²

к.э.н., профессор.

e-mail: nurbahit73@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-8551-0573

ИСАХМЕТОВА А.Н.,³

к.э.н., ассоциированный профессор.

e-mail: i_a_n@inbox.ru

ORCID ID: 0000-0003-2342-2639

МУХАМБЕТОВА З.С.,¹

к.э.н., доцент.

e-mail: zamiramuhambetova7@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-4057-0791

¹Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

²Кызылординский открытый университет, г. Кызылорда, Казахстан

³Центрально-Азиатский инновационный университет, г. Шымкент, Казахстан

ОЦЕНКА И ИЗМЕРИМОСТЬ ИНДИКАТОРОВ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ В АПК КАЗАХСТАНА: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Аннотация

В условиях трансформации агропромышленного комплекса Республики Казахстан в сторону устойчивого развития особую актуальность приобретает формирование системы количественно измеримых индикаторов циркулярной экономики. Отсутствие унифицированных методических подходов к оценке уровня циркулярности аграрного производства существенно ограничивает возможности мониторинга, межрегиональной сопоставимости и обоснования управленческих решений. Целью статьи является анализ зарубежных методических подходов к оценке циркулярной экономики и разработка адаптированного инструментария измерения циркулярных процессов в агропромышленном комплексе Казахстана. В исследовании применены методы системного анализа, сравнительного обзора, индексного моделирования и экспертных оценок. Обобщены международные системы индикаторов, включая методики Европейской комиссии, Ellen MacArthur Foundation, BEROC, а также KPI-подходы оценки циркулярности бизнеса. На основе зарубежного опыта и результатов авторских расчетов по агропредприятиям северных регионов Казахстана предложена интегрированная система индикаторов, отражающая экономические, экологические и социальные эффекты замкнутых производственных циклов. Интеграция принципов циркулярной экономики с цифровыми и бережливыми инструментами рассматривается как ключевой фактор повышения устойчивости и конкурентоспособности сельскохозяйственного производства. В работе также обозначены направления формирования инновационной экосистемы, способствующей эффективному внедрению этих подходов на уровне предприятий различных масштабов. Научная новизна исследования заключается в разработке агрегированного индекса циркулярности АПК, адаптированного к биологической и сезонной специфике сельского хозяйства Казахстана и основанного на интеграции методов LCA и ESG-оценки. Практическая значимость результатов определяется возможностью их использования при формировании государственной аграрной политики, разработке отраслевых программ и внедрении инструментов мониторинга циркулярной экономики.

Ключевые слова: циркулярная экономика, экономика замкнутого цикла, индикаторы, индекс циркулярности, агропромышленный комплекс, устойчивое развитие, замкнутые цепи поставок, ремануфактуринг.

Введение

Концепция устойчивого развития стала ключевой парадигмой современной экономической политики. В условиях климатических изменений, роста потребления ресурсов и необходимости укрепления продовольственной безопасности Республика Казахстан сталкивается с необходимостью перехода к новым моделям хозяйствования в аграрном секторе.

Одним из эффективных инструментов повышения устойчивости и экономической эффективности агропромышленного производства выступает внедрение принципов экономики замкнутого цикла (ЗЦЭ). Данная модель предполагает рациональное использование ресурсов, минимизацию отходов и повторное вовлечение побочной продукции в производственный процесс.

Переход от линейной модели хозяйствования к циркулярной экономике рассматривается в мировой практике как один из ключевых инструментов снижения ресурсной нагрузки и экологических рисков [1–3]. Теоретические основания циркулярной экономики как альтернативной модели хозяйствования и ее понятийные границы подробно раскрыты в работах зарубежных исследователей. В частности, J. Kirchherr и соавторы акцентируют внимание на системной трансформации цепочек создания стоимости и институциональных аспектах перехода к циркулярной модели, тогда как N. Vocken и соавторы обобщают ключевые направления и бизнес-подходы, лежащие в основе циркулярной экономики [4, 5].

Для агропромышленного комплекса (АПК) данная трансформация имеет особое значение, поскольку сельское хозяйство характеризуется высокой материалоемкостью, значительными объемами органических отходов и тесной взаимосвязью с природными экосистемами.

По данным Eurostat, в странах Европейского союза доля вторичного использования материалов (Circular Material Use Rate) в 2022 г. составила в среднем около 11,5%, при этом в агропродовольственном секторе данный показатель варьируется от 6 до 14% в зависимости от уровня переработки биологических отходов [1]. В странах ОЭСР сельское хозяйство рассматривается как один из ключевых источников формирования циркулярных потоков за счет вовлечения органической биомассы и побочной продукции в повторный экономический оборот [6].

Согласно данным ФАО, ежегодно в мире в агропродовольственных цепочках образуется до 1,3 млрд тонн потерь и отходов, значительная часть которых приходится на стадии первичного производства и переработки [7]. В Казахстане уровень повторного использования побочной продукции сельского хозяйства остается фрагментарным и в значительной степени не отражен в официальной статистике, что затрудняет формирование сопоставимых показателей циркулярности [8].

Несмотря на активное развитие концепции циркулярной экономики в международной научной повестке, в агропромышленном комплексе сохраняется выраженный методический разрыв между декларативным применением принципов устойчивости и возможностью их количественной оценки.

Большинство существующих индикаторов либо ориентированы на промышленный сектор, либо не позволяют учитывать биологическую природу аграрного производства, сезонность, а также многофункциональность побочных продуктов.

В результате формирование управленческих решений в сфере циркулярной трансформации АПК часто осуществляется на основе фрагментарных или качественных оценок, что снижает обоснованность аграрной политики и инвестиционных решений.

В условиях Казахстана данная проблема усугубляется ограниченной доступностью статистических данных, низким уровнем стандартизации ESG-отчетности агропредприятий и отсутствием адаптированных инструментов мониторинга замкнутых цепей поставок. Это предопределяет необходимость разработки методического инструментария, обеспечивающего сопоставимость, воспроизводимость и практическую применимость оценки циркулярной экономики в АПК.

Эффективность внедрения циркулярных принципов в АПК напрямую зависит от наличия системы количественно измеримых индикаторов, позволяющих оценивать уровень циркулярности производства, выявлять узкие места и сопоставлять результаты между предприятиями

и регионами. Вместе с тем анализ научных публикаций показывает, что методические вопросы измерения циркулярной экономики остаются дискуссионными, особенно применительно к аграрному сектору, где универсальные индикаторы не учитывают сезонность, биологические циклы и многофункциональность побочных продуктов.

В этой связи актуализируется задача адаптации зарубежных методических подходов к условиям агропромышленного комплекса Казахстана, что и определяет цель и логику настоящего исследования.

Материалы и методы

Методологическую основу исследования составляют принципы циркулярной, цифровой и бережливой экономики, а также методы системного анализа, сравнительной и экономико-статистической оценки, широко применяемые в зарубежных исследованиях устойчивых аграрных систем.

Эмпирическая база включает статистические и аналитические данные по нескольким агропромышленным предприятиям, работающим в сферах молочной переработки, зернопереработки и кормопроизводства. Для оценки эффективности внедрения элементов ЗЦЭ использованы показатели:

- ◆ изменение уровня прибыли и рентабельности (ROI);
- ◆ снижение себестоимости за счет повторного использования сырья и упаковки;
- ◆ доля переработанной побочной продукции;
- ◆ экономия энергетических и материальных ресурсов;
- ◆ интегральный показатель ESG-эффектов, включающий экологический, социальный и управленческий вклад.

Методический инструментарий включает анализ жизненного цикла (LCA), факторный и корреляционный анализ, а также методы экспертных оценок (метод Дельфи), рекомендованные для оценки экологических и ресурсных эффектов циркулярных моделей. Сравнительные расчеты выполнены на основе данных до и после внедрения элементов циркулярных технологий.

Выбор системы индикаторов и весовых коэффициентов осуществлялся с учетом принципов репрезентативности, измеримости и управляемости показателей, что соответствует международным подходам к формированию агрегированных индексов циркулярности. Экономические индикаторы отражают прямые финансовые эффекты внедрения циркулярных решений и наиболее чувствительны к изменениям производственной логики. Экологические показатели ориентированы на оценку ресурсной эффективности и снижения антропогенной нагрузки, в том числе в рамках анализа жизненного цикла (LCA). Социальные индикаторы позволяют учитывать косвенные эффекты, связанные с занятостью, кооперацией и развитием локальных сообществ.

Весовые коэффициенты определялись методом экспертных оценок с участием специалистов в области агроэкономики, устойчивого развития и управления цепями поставок. Применение метода Delphi позволило снизить субъективность распределения весов и обеспечить согласованность экспертных суждений, что повышает устойчивость итогового интегрального индекса к изменению входных параметров.

Выбор агрегированного индекса циркулярности обусловлен необходимостью перехода от разрозненных показателей к целостной оценке устойчивости агропромышленного производства. Использование интегрального показателя позволяет выявлять не только уровень ресурсной эффективности, но и структурные дисбалансы между компонентами циркулярной экономики, что соответствует методологическим подходам к построению композитных индексов, применяемым в международной практике [6, 9, 10].

Обзор зарубежных методических подходов к оценке циркулярной экономики. В зарубежных исследованиях оценка циркулярной экономики основывается на широком спектре инструментов – от макроэкономических индексов до корпоративных KPI. В работах M. Saidani и соавторов предложена таксономия C-индикаторов, классифицированных по уровню анализа, стадии жизненного цикла и типу измерения, что позволило систематизировать существующие подходы [8].

Значительное распространение получила методология Ellen MacArthur Foundation, в рамках которой разработан Индикатор цикличности материала (Material Circularity Indicator, MCI), позволяющий количественно оценивать степень восстановления материальных потоков продукции и предприятий [11].

На макроуровне наиболее развитой является система мониторинга циркулярной экономики Европейского союза, включающая показатели ресурсной продуктивности, управления отходами, вторичного сырья и инновационной активности [12, 13]. Однако данные индикаторы в большей степени ориентированы на промышленный сектор и требуют адаптации для анализа аграрного производства.

Методика оценки и измеримости индикаторов циркулярной экономики в АПК. Для оценки экологических и ресурсных эффектов циркулярных решений использован анализ жизненного цикла (LCA), широко применяемый в международных исследованиях [7, 14, 15].

С учетом отраслевой специфики агропромышленного комплекса в исследовании использован комбинированный методический подход, включающий:

- ♦ нормализацию исходных показателей;
- ♦ их агрегирование в интегральный индекс циркулярности;
- ♦ экспертное взвешивание индикаторов методом Delphi;
- ♦ интеграцию LCA- и ESG-подходов.

Формирование интегрального индекса циркулярности. Интегральный индекс циркулярности АПК рассчитывается на основе агрегированного ESG-индекса, который определяется как взвешенная сумма нормализованных показателей:

$$CI = \sum_{i=1}^n w_i \cdot N_i, \quad (1)$$

где:

CI – интегральный индекс циркулярности;

w_i – весовой коэффициент показателя;

n – общее число используемых индикаторов;

N_i – нормализованное значение показателя.

Для сопоставимой оценки ESG-эффектов до и после внедрения замкнутой цепи поставок использован метод нормирования показателей по шкале от 0 до 10. Нормирование выполнено на основе фактических и нормативных значений показателей экологической, экономической и социальной результативности с применением метода min–max.

Нормализация показателей осуществляется по формуле:

$$N_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (2)$$

где:

x_i – исходное (фактическое) значение показателя;

x_{min} и x_{min} – соответственно минимальное и максимальное значения показателя, определенные по совокупности наблюдений либо на основе нормативных ориентиров.

Полученные нормированные значения использованы для построения spider-диаграммы (рисунок 2), отражающей сравнительную динамику ESG-эффектов.

В рамках методического подхода к оценке циркулярной экономики в АПК использована система агрегированных индикаторов, структурированных по экономическому, экологическому и социальному блокам. Отбор показателей осуществлялся с учетом отраслевой специфики сельского хозяйства, доступности данных и возможности последующей нормализации и агрегирования (таблица 1).

Использование данной системы индикаторов позволяет формировать интегральный индекс циркулярности на микроуровне и обеспечивает методическую основу для последующего анализа эффективности циркулярных решений в агропромышленном комплексе.

Таблица 1 – Система агрегированных индикаторов циркулярной экономики в АПК

Группа индикаторов	Показатели
Экономические	рост прибыли, снижение себестоимости, ROI циркулярных инвестиций
Экологические	сокращение выбросов CO ₂ , уровень утилизации органических отходов, доля вторичных ресурсов
Социальные	занятость, кооперация, вовлеченность локальных сообществ
Примечание: Составлено авторами на основе источников [2, 3, 6, 8].	

Результаты и обсуждение

Проведенное исследование позволило выявить ключевые закономерности и экономические эффекты, сопровождающие переход предприятий агропромышленного комплекса Казахстана к модели замкнутой цепи поставок (ЗЦП). На основе анализа агрегированных данных предприятий (зерно- и молокопереработка, мукомольное, комбинированное производство) проведено сопоставление базового и инновационного сценариев, отражающих «до» и «после» внедрения элементов циркулярной экономики.

Результаты апробации методики на данных агропредприятий Акмолинской и Северо-Казахстанской областей показали, что внедрение циркулярных решений обеспечивает рост интегрального индекса циркулярности, что согласуется с выводами международных исследований по аграрной циркулярной экономике [6, 9, 10]. Наибольший вклад в формирование эффекта вносит повторное использование органической биомассы, развитие внутривозвратных замкнутых циклов и интеграция растениеводства и животноводства.

Сопоставление результатов с исследованиями BEROС и Eurostat подтверждает соответствие выявленных тенденций глобальным направлениям циркулярной трансформации, при этом для АПК Казахстана характерна более высокая роль локальных и биологических циклов [16].

Анализ эмпирической базы и расчеты показывают системные положительные эффекты от внедрения элементов моделей замкнутой цепи поставок (ЗЦП) в агропромышленном комплексе. Основные наблюдаемые изменения при переходе от линейной к циркулярной логике организации производства и сбыта можно суммировать следующим образом: увеличение прибыли предприятий в среднем на 30–55%, сокращение объема производственных отходов на 18–25%, рост энергоэффективности процессов переработки, а также диверсификация каналов сбыта за счет реализации побочной продукции. Эти показатели получены на основе сопоставления данных «до/после» по выборке предприятий различных отраслевых профилей (молочная переработка, зернопереработка, мукомольное и комбикормовое производство).

1. Экономический эффект: структура прироста и источники дохода

Экономический прирост определяется совокупностью нескольких компонентов:

- ♦ Реализация побочной продукции. Повторная переработка и коммерциализация жмыха, отрубей, сыворотки и других побочных материалов обеспечивает дополнительные поступления в общий товарооборот. На отдельных предприятиях доход от таких операций составил десятки миллионов тенге в год, что напрямую влияет на чистую прибыль и сокращение удельных затрат.

- ♦ Снижение переменных затрат. Повышение степени повторного использования упаковки, возврат кормовой добавки внутрь хозяйства и использование органических остатков в качестве сырья для биотоплива или компоста позволяют снизить себестоимость единицы продукции.

- ♦ Сокращение логистических и утилизационных расходов. Централизация переработки побочной продукции и формирование межхозяйственных цепочек уменьшает затраты на транспорт и утилизацию.

- ♦ Эффект рыночной премии за устойчивое производство, проявляющийся в возможности реализации продукции по более высоким ценам, особенно на экспортных рынках, также подтверждается международными аналитическими обзорами [15, 16].

По совокупности факторов достигнутый ROI по внедренным проектам показал улучшение и в ряде сценариев превысил порог в 20% при сроке окупаемости порядка 3–5 лет, что делает инициативы экономически привлекательными для инвесторов при условии доступного финансирования и стабильности рынков.

2. Экологический эффект и LCA-результаты

Оценка жизненного цикла (LCA) выявила «горячие точки» экологической нагрузки, традиционно сосредоточенные на этапах сушки сырья, переработки и транспортировки. Внедрение ЗЦП привело к следующим изменениям:

- ♦ Снижение выбросов парниковых газов. Повторное использование энергии и замена части ископаемых энергоресурсов на биомассу сократили удельные выбросы CO₂ на производимых единицах продукции (в зависимости от производственного профиля – до существенных величин, сопоставимых с 10–20% от исходного уровня).

- ♦ Уменьшение объема отходов, направляемых на захоронение. Частичное перераспределение побочных потоков в производство кормов или удобрений сократило давление на полигоны и снизило риски загрязнения почвы и воды.

- ♦ Оптимизация водопотребления. Внедрение повторного использования технологических вод в отдельных процессах снизило потребление чистой воды на участках с высокой водоёмкостью.

LCA-идентификация и количественные оценки позволили сформировать приоритеты вмешательств: модернизация сушильного оборудования, локализация переработки побочных продуктов и оптимизация транспортных схем представляют собой наиболее рентабельные направления снижения экологического следа.

3. Социальный эффект: занятость, квалификация и локальное развитие

Переход к циркулярным процессам сопровождается положительными социальными эффектами:

- ♦ Создание дополнительных рабочих мест. На этапах переработки побочной продукции и сервисного обслуживания цифровых платформ наблюдается рост занятости (в зависимости от масштаба – прирост в пределах 5–12% по предприятиям).

- ♦ Повышение квалификации персонала. Имплементация цифровых систем и современных перерабатывающих технологий требует обучения сотрудников, что повышает общий человеческий капитал.

- ♦ Укрепление локальной кооперации. Формирование межхозяйственных цепочек создает стимулирующие условия для объединения мелких производителей, улучшает доступ мелких хозяйств к рынкам и перерабатывающим мощностям.

Социальные выгоды усиливают экономическую мотивацию для предприятий и региональных властей поддерживать переход на циркулярные модели.

4. Роль цифровых и бережливых технологий: механизмы воздействия

Цифровизация и бережливый менеджмент выступают как мультипликаторы эффективности при реализации ЗЦП:

- ♦ Цифровые платформы обеспечивают прослеживаемость потоков сырья и побочных продуктов, реальное время мониторинга объемов и качества, автоматизацию учета и аналитики для принятия решений. Это уменьшает неопределенность и транзакционные издержки.

- ♦ IoT и датчики позволяют оптимизировать энергопотребление, режимы сушки и хранения, снижая потери и дефекты продукции.

- ♦ Бережливые практики – выравнивание потоков, устранение потерь времени и материалов – снижают непроизводительные издержки и упрощают переход к циклическим процедурам.

Комбинация цифровых и бережливых решений обеспечивает гибкий механизм принятия решений, позволяет реализовать оперативную модель выбора способа утилизации и переработки с учетом экономических, экологических и социальных критериев.

5. Чувствительность выводов и сценарный анализ

Результаты чувствительностного анализа показывают, что ключевые параметры, влияющие на экономическую целесообразность, включают: рыночные цены на побочную продукцию, уровень энергосбережения, долю повторного использования материалов и стоимость

капитальных вложений. Вариации этих параметров приводят к значимым изменениям в прогнозируемом ROI:

- ♦ Небольшие колебания цен на побочную продукцию ($\pm 10\text{--}20\%$) заметно влияют на дополнительную маржинальность, особенно для предприятий, где побочная продукция составляет существенную долю дохода.

- ♦ Прирост энергоэффективности даже на несколько процентов дает мультипликативный эффект за счет снижения постоянных операционных расходов.

Сценарный анализ (базовый, оптимистичный и консервативный) демонстрирует, что при реализации пакета мер (цифровизация + переработка + кооперация) проекты остаются устойчивыми в большинстве вероятных сценариев, однако требуют адекватного управления рисками (рыночные шоки, логистические перебои, нормативные изменения).

6. Управленческие и политические выводы

Использование агрегированных индексов циркулярности и ESG-показателей рекомендуется для мониторинга устойчивого развития агропромышленного комплекса и формирования мер государственной поддержки, что соответствует рекомендациям международных организаций и институтов развития [10, 17, 18].

На мезоуровне данные инструменты могут быть использованы для оценки эффективности кооперационных моделей и локальных замкнутых цепей поставок.

7. Ограничения исследования и направления дальнейших работ

Ограничениями настоящего исследования являются ограниченная ширина выборки по предприятиям и относительная неопределенность долгосрочных ценовых трендов на побочную продукцию. Для повышения внешней валидности рекомендуется расширить выборку по регионам, провести углубленные LCA-исследования для отдельных продуктовых путей и заполнить эконометрическую оценку динамических эффектов на уровне рынка.

Результаты агрегированы в таблице 2, где отражены изменения по основным показателям: себестоимость единицы продукции, удельное потребление воды и энергии, коэффициент повторного использования сырья и уровень потерь при производстве. В целом внедрение элементов ЗЦП позволило сократить совокупные производственные издержки на 8–12%, повысить коэффициент ресурсной эффективности на 15–18% и снизить удельный углеродный след на 9–11%.

Для оценки изменений ключевых технико-экономических и экологических показателей в результате внедрения модели замкнутой цепи поставок была проведена нормализация исходных данных и сформирована сравнительная таблица показателей до и после внедрения ЗЦП. Все показатели приведены в относительном выражении (базовый уровень принят за 100), что позволяет обеспечить сопоставимость результатов для предприятий различного масштаба и специализации.

Таблица 2 – Сравнительный анализ «до»/«после» внедрения ЗЦП

Показатель	До внедрения ЗЦП	После внедрения ЗЦП	Изменение, %
Себестоимость единицы продукции	100	88	-12
Удельное энергопотребление	100	90	-10
Удельное водопотребление	100	92	-8
Коэффициент повторного использования сырья	0,42	0,57	+15
Удельный углеродный след	100	89	-11
Примечание: Составлено авторами по данным агропредприятий северных регионов Казахстана на основе источника [6].			

Как видно из данных, представленных в таблице 2, внедрение элементов замкнутой цепи поставок сопровождается снижением себестоимости и ресурсной нагрузки, а также ростом коэффициента повторного использования сырья. Наиболее выраженные изменения зафиксирова-

ны по показателям энергопотребления и углеродного следа, что подтверждает экологическую направленность предложенной модели.

Полученные значения частных индексов свидетельствуют о том, что экономический эффект от внедрения циркулярных решений в агропромышленном комплексе формируется не за счет отдельных мероприятий, а в результате совокупного воздействия переработки побочной продукции, ресурсосбережения и организационной оптимизации. Аналогичные выводы о необходимости комплексного подхода к внедрению циркулярной экономики в аграрном секторе представлены в зарубежных исследованиях [14, 15].

Для визуализации динамики достигнутой экономии был построен водопад-график, демонстрирующий вклад отдельных направлений (энергосбережение, вторичное использование побочной продукции, оптимизация логистики) в общую сумму экономического эффекта:

$$\Delta E = \Delta E_{\text{эн}} + \Delta E_{\text{вт}} + \Delta E_{\text{лог}} + \Delta E_{\text{проч}}, \quad (3)$$

где:

$\Delta E_{\text{эн}}$ – экономия за счет энергосбережения;

$\Delta E_{\text{вт}}$ – эффект от переработки и реализации побочной продукции;

$\Delta E_{\text{лог}}$ – эффект от оптимизации логистических операций.

Наибольший вклад обеспечили мероприятия по переработке вторичных потоков: использование отрубей в комбикормовом производстве, жмыха – в масложировом цикле и сыворотки – в производстве белковых концентратов.

Для выявления структуры формирования совокупного экономического эффекта внедрения ЗЦП использован метод декомпозиции, результаты которого представлены в виде водопад-графика (рисунок 1). Такой подход позволяет определить вклад отдельных факторов в общий финансовый результат.



Рисунок 1 – Декомпозиция совокупного экономического эффекта внедрения замкнутой цепи поставок, млн тг

Примечание: Составлено авторами на основе источника [6].

Анализ рисунка 1 показывает, что наибольший вклад в формирование экономического эффекта обеспечивает переработка побочной продукции, что подтверждает целесообразность развития ремануфактуринга в АПК. Дополнительный положительный эффект формируется за счет энергосбережения и логистической оптимизации.

Комплексная оценка устойчивости проведена с использованием интегрального ESG-подхода, включающего экологические, экономические и социальные показатели. Для визуализации полученных результатов использована Spider-диаграмма, отражающая изменения структуры устойчивости до и после внедрения ЗЦП (рисунок 2).

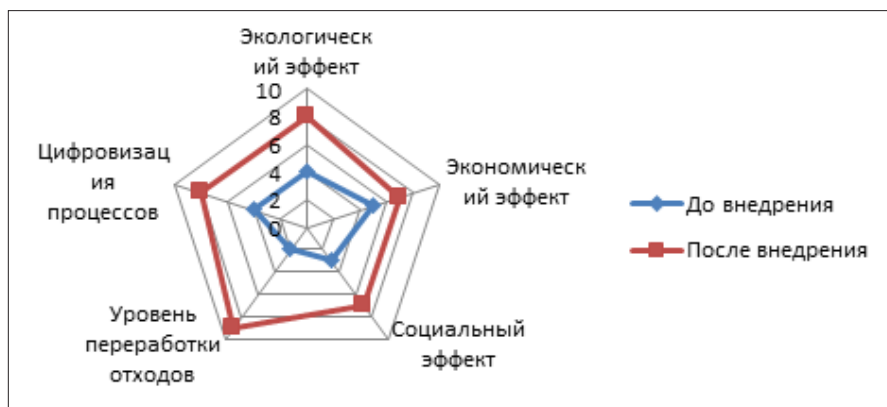


Рисунок 2 – Сравнительная диаграмма ESG-эффектов до и после внедрения замкнутой цепи поставок

Примечание: Составлено авторами на основе источников [16, 19].

Расширение контура диаграммы после внедрения ЗЦП свидетельствует о сбалансированном росте всех компонентов устойчивости, при этом наиболее существенные сдвиги отмечены в экологическом и социальном блоках: снижение выбросов CO₂-эквивалента, рост доли внутреннего перераспределения отходов, повышение вовлеченности местных поставщиков и создание дополнительных рабочих мест в смежных кооперационных звеньях.

Для оценки экономической целесообразности внедрения ЗЦП проведен сценарный анализ зависимости показателя ROI от уровня интеграции циркулярных процессов, формула расчета которой приведена ниже:

$$ROI = \frac{\Delta P}{I} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где:

ΔP – прирост прибыли;

I – инвестиционные затраты на внедрение ЗЦП.

Результаты представлены в виде сценарной кривой (рисунок 3).

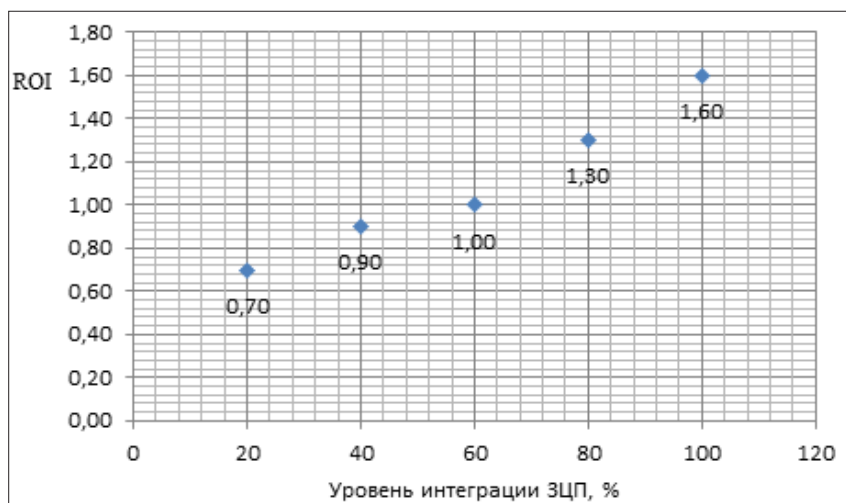


Рисунок 3 — ROI-кривая

Примечание: Составлено авторами на основе источников [6].

Согласно рисунку 3, достижение экономической устойчивости обеспечивается при уровне интеграции циркулярных процессов выше 60%, после чего наблюдается устойчивый рост рентабельности ($ROI > 1$). Это подтверждает необходимость комплексного, а не фрагментарного внедрения ЗЦП.

Для комплексной оценки был предложен интегральный индекс экологической результативности (EPI), рассчитываемый по формуле:

$$EPI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot R_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (5)$$

где:

R_i – нормированные частные показатели экологической эффективности (энергопотребление, водопотребление, уровень отходов, выбросы CO_2);

w_i – весовые коэффициенты, отражающие значимость каждого параметра.

Нормирование выполнялось по отношению к базовому периоду (до внедрения).

Пример расчета EPI проведен для трех типичных продуктов агропереработки – муки, отрубей и жмыха.

♦ Для муки снижение удельного энергопотребления на 10% и водопотребления на 8% обеспечило прирост индекса до 1,12.

♦ Для отрубей интеграция побочного потока в систему внутреннего перераспределения повысила EPI до 1,19.

♦ Для жмыха, используемого в кормопроизводстве, за счет повторного использования сырья и снижения отходов EPI достиг 1,23.

Совокупный интегральный показатель по группе предприятий составил 1,18, что свидетельствует о повышении экологической результативности на 18% по сравнению с исходным уровнем.

Полученные результаты имеют прикладное значение для формирования государственной политики в сфере устойчивого развития агропромышленного комплекса. Интегральный индекс циркулярности и сопутствующие ESG-показатели могут быть использованы в качестве инструмента отбора и приоритизации проектов при распределении мер государственной поддержки, включая субсидии на модернизацию, льготное кредитование и грантовые программы.

На уровне предприятий разработанный инструментарий позволяет интегрировать показатели циркулярности в систему стратегического и операционного управления, обеспечивая связь между инвестиционными решениями, экологическими ограничениями и социальными эффектами. На мезоуровне (регион, кластер) индикаторы могут использоваться для оценки эффективности кооперационных моделей и локальных замкнутых цепей поставок.

Таким образом, предложенный подход формирует методическую основу для перехода от декларативного внедрения принципов циркулярной экономики к их институционализированному и измеримому применению в агропромышленном комплексе Казахстана.

На основе обобщения полученных данных сформирована поэтапная дорожная карта внедрения моделей ЗЦП в АПК Казахстана, включающая три стадии:

1. Институциональная подготовка – формирование цифровых индикаторов и методики оценки, определение нормативных параметров ресурсной эффективности.

2. Пилотное внедрение – апробация циркулярных механизмов на предприятиях с высокой степенью технологической готовности (зернопереработка, молочная промышленность, комбикормовые заводы).

3. Масштабирование и интеграция – расширение кооперационных связей, развитие ремануфактуринга и локальных систем повторного использования побочной продукции.

Данная последовательность обеспечивает управляемость процесса и минимизацию рисков, связанных с капиталоемкостью и нормативной неопределенностью.

Сравнительный анализ показал, что экономическая устойчивость циркулярных моделей тесно связана с цифровой трансформацией производственных процессов. Наибольший эффект наблюдается при использовании систем сквозного мониторинга (цифровые двойники, ERP-платформы) и при интеграции показателей EPI и ROI в управленческие решения.

Полученные результаты подтверждают потенциал циркулярных подходов для повышения конкурентоспособности аграрных предприятий и могут быть использованы при разработке государственной политики в сфере продовольственной безопасности и устойчивого сельского хозяйства Казахстана.

Заключение

Проведенное исследование показало, что измеримость циркулярной экономики в агропромышленном комплексе возможна только при использовании комплексной системы индикаторов, сочетающей экономические, экологические и социальные аспекты, что согласуется с выводами зарубежных исследований.

Зарубежные методические подходы формируют теоретическую основу оценки циркулярности, однако их практическое применение в условиях АПК Казахстана требует адаптации с учетом отраслевой специфики и доступности статистических данных.

Предложенный интегральный индекс циркулярности может быть использован для мониторинга устойчивого развития аграрных предприятий, оценки эффективности циркулярных проектов и формирования государственной политики в сфере устойчивого сельского хозяйства.

Результаты исследования подтверждают экономическую и экологическую целесообразность внедрения моделей замкнутых цепей поставок в агропромышленный комплекс Казахстана. Использование принципов экономики замкнутого цикла обеспечивает оптимизацию ресурсопотребления, рост доходности и повышение экологической эффективности предприятий.

Сопоставление полученных результатов с зарубежными исследованиями показывает, что для агропромышленного комплекса Казахстана характерна более высокая роль локальных биологических циклов по сравнению с промышленными секторами, что требует акцента на адаптированные индикаторы повторного использования биомассы и кооперационные эффекты в рамках аграрных цепочек поставок [7, 11].

Ключевыми факторами успешной реализации моделей являются развитие цифровизации, государственная поддержка, формирование кооперационных механизмов и внедрение систем ESG-мониторинга. Полученные результаты могут быть использованы при разработке стратегий устойчивого развития сельского хозяйства и формировании государственной политики в области продовольственной безопасности.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на расширение эмпирической базы, разработку отраслевых коэффициентов для различных видов агропроизводства, а также на интеграцию предложенных индикаторов в цифровые платформы мониторинга устойчивого развития АПК.

Информация о финансировании. Статья подготовлена в рамках грантового проекта ГК AP19680251 «Анализ проблем развития циркулярной экономики в АПК Казахстана с разработкой модели использования ее возможностей в современных условиях».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M.P. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 143. P. 757–768.
- 2 Murray A., Skene K., Haynes K. The Circular Economy: An interdisciplinary exploration // *Business Strategy and the Environment*. 2017, vol. 26(3), pp. 369–380.
- 3 Blomsma F., Brennan G. The emergence of circular economy // *Journal of Industrial Ecology*. 2017, vol. 21(3), pp. 603–614.
- 4 Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy // *Resources, Conservation & Recycling*. 2017, vol. 127, pp. 221–232.
- 5 Bocken N.M.P., Short S., Rana P., Evans S. A literature review on circular economy // *Journal of Industrial Ecology*. 2016, vol. 20(3), pp. 542–558.
- 6 OECD. *Business Models for the Circular Economy*. Paris, 2019.
- 7 Geng Y., Sarkis J. Measuring circular economy performance // *Resources, Conservation & Recycling*. 2019, vol. 143, pp. 153–155.

- 8 Saidani M., Yannou B., Leroy Y., Cluzel F. A taxonomy of circular economy indicators // *Journal of Cleaner Production*. 2019, vol. 207, pp. 542–559.
- 9 World Bank. *Sustainable Agriculture and Circular Economy*. Washington, 2021.
- 10 FAO. *Circular Economy in Agriculture*. Rome, 2020.
- 11 Ellen MacArthur Foundation. *Circularity Indicators*. 2015. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator> (accessed: 15.01.2025)
- 12 European Commission. *Monitoring framework for the circular economy*. Brussels, 2020. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/monitoring-framework> (accessed: 15.01.2025)
- 13 Eurostat. *Circular economy indicators*. Luxembourg, 2023. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy> (accessed: 15.01.2025)
- 14 Linder M., Sarasini S., van Loon P. A metric for quantifying product-level circularity // *Journal of Industrial Ecology*. 2017, vol. 21(3), pp. 545–558.
- 15 Korhonen J., Honkasalo A., Seppälä J. Circular economy: The concept and its limitations // *Ecological Economics*. 2018, vol. 143, pp. 37–46.
- 16 BEROC. *Circular Economy in Transition Economies*. Minsk, 2021.
- 17 Агентство по стратегическому планированию и реформам РК. *Индикаторы устойчивого развития*. – Астана, 2022.
18. Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. *Государственная программа развития АПК*. – Астана, 2023.
- 19 UNEP. *Measuring circular economy*. Nairobi, 2020.

REFERENCES

- 1 Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M.P. (2017) The Circular Economy – A new sustainability paradigm? // *Journal of Cleaner Production*. Vol. 143, pp. 757–768. (In English).
- 2 Murray A., Skene K., Haynes K. (2017) The Circular Economy: An interdisciplinary exploration // *Business Strategy and the Environment*, vol. 26(3), pp. 369–380. (In English).
- 3 Blomsma F., Brennan G. (2017) The emergence of circular economy // *Journal of Industrial Ecology*, vol. 21(3), pp. 603–614. (In English).
- 4 Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. (2017) Conceptualizing the circular economy // *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 127, pp. 221–232. (In English).
- 5 Bocken N.M.P., Short S., Rana P., Evans S. (2016) A literature review on circular economy // *Journal of Industrial Ecology*, vol. 20(3), pp. 542–558. (In English).
- 6 OECD. *Business Models for the Circular Economy*. Paris, 2019. (In English).
- 7 Geng Y., Sarkis J. (2019) Measuring circular economy performance // *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 143, pp. 153–155. (In English).
- 8 Saidani M., Yannou B., Leroy Y., Cluzel F. (2019) A taxonomy of circular economy indicators // *Journal of Cleaner Production*, vol. 207, pp. 542–559. (In English).
- 9 World Bank. *Sustainable Agriculture and Circular Economy*. Washington, 2021. (In English).
- 10 FAO. *Circular Economy in Agriculture*. Rome, 2020. (In English).
- 11 Ellen MacArthur Foundation. *Circularity Indicators*. 2015. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator> (accessed: 15.01.2025). (In English).
- 12 European Commission. *Monitoring framework for the circular economy*. - Brussels, 2020. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/monitoring-framework> (accessed: 15.01.2025). (In English).
- 13 Eurostat. *Circular economy indicators*. Luxembourg, 2023. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy> (accessed: 15.01.2025). (In English).
- 14 Linder M., Sarasini S., van Loon P. (2017) A metric for quantifying product-level circularity // *Journal of Industrial Ecology*, vol. 21(3), pp. 545–558. (In English).
- 15 Korhonen J., Honkasalo A., Seppälä J. (2018) Circular economy: The concept and its limitations // *Ecological Economics*. Vol. 143, pp. 37–46. (In English).
- 16 BEROC. *Circular Economy in Transition Economies*. Minsk, 2021. (In English).
- 17 Агентство по стратегическому планированию и реформам РК. *Индикаторы устойчивого развития*. Астана, 2022. (In Russian).
- 18 Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. *Государственная программа развития АПК*. Астана, 2023. (In Russian).
- 19 UNEP. *Measuring circular economy*. Nairobi, 2020. (In English).

КУНАФИНА Г.Т.,*¹

Э.Ф.К., қауымдастырылған профессор.

*e-mail: gulzhan-kunafina@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-9646-3493

НУРМУХАМЕТОВ Н.Н.,²

Э.Ф.К., профессор.

e-mail: nurbahit73@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-8551-0573

ИСАХМЕТОВА А.Н.,³

Э.Ф.К., доцент.

e-mail: i_a_n@inbox.ru

ORCID ID: 0000-0003-2342-2639

МУХАМБЕТОВА З.С.,¹

Э.Ф.К., доцент.

e-mail: zamiramuhambetova7@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-4057-0791

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан

²Қызылорда ашық университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

³Орталық Азия Инновациялық университеті, Шымкент қ., Қазақстан

ҚАЗАҚСТАННЫҢ АӨК-ДЕГІ АЙНАЛМАЛЫ ЭКОНОМИКА ИНДИКАТОРЛАРЫН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ӨЛШЕУ: ШЕТЕЛДІК ТӘЖІРИБЕ ЖӘНЕ ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕР

Андатпа

Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенін орнықты даму жағына трансформациялау жағдайында айналмалы экономиканың сандық өлшенетін индикаторлары жүйесін қалыптастыру ерекше өзекті болып отыр. Аграрлық өндірістің циркулярлық деңгейін бағалаудың бірыңғай әдістемелік тәсілдерінің болмауы мониторинг, өңіраралық салыстырмалылық және басқару шешімдерін негіздеу мүмкіндіктерін айтарлықтай шектейді. Мақаланың мақсаты айналмалы экономиканы бағалаудың шетелдік әдістемелік тәсілдерін талдау және Қазақстанның агроөнеркәсіптік кешеніндегі айналмалы процестерді өлшеудің бейімделген құралдарын әзірлеу болып табылады. Зерттеуде жүйелік талдау, салыстырмалы шолу, индексті модельдеу және сараптамалық бағалау әдістері қолданылды. Еуропалық комиссияның, Ellen MacArthur Foundation, BEROС әдістемелерін қоса алғанда, индикаторлардың халықаралық жүйелері, сондай-ақ КРІ-Бизнестің айналымын бағалау тәсілдері жалпыланған. Қазақстанның солтүстік өңірлерінің агроөнеркәсіптік кешендері бойынша шетелдік тәжірибе мен авторлық есеп айырысу нәтижелері негізінде тұйық өндірістік циклдердің экономикалық, экологиялық және әлеуметтік әсерлерін көрсететін индикаторлардың интеграцияланған жүйесі ұсынылды. Айналмалы экономика қағидаттарын цифрлық және үнемді құралдармен интеграциялау ауыл шаруашылығы өндірісінің тұрақтылығы мен бәсекеге қабілеттілігін арттырудың негізгі факторы ретінде қарастырылады. Сондай-ақ, жұмыста әртүрлі масштабтағы кәсіпорындар деңгейінде осы тәсілдерді тиімді енгізуге ықпал ететін инновациялық экожүйені қалыптастыру бағыттары көрсетілген. Зерттеудің ғылыми жаңалығы Қазақстан ауыл шаруашылығының биологиялық және маусымдық ерекшелігіне бейімделген және LCA және ESG-бағалау әдістерін интеграциялауға негізделген АӨК айналымының жиынтық индексіні әзірлеу болып табылады. Нәтижелердің практикалық маңыздылығы оларды мемлекеттік аграрлық саясатты қалыптастыру, салалық бағдарламаларды әзірлеу және айналмалы экономика мониторингінің құралдарын енгізу кезінде пайдалану мүмкіндігімен айқындалады.

Тірек сөздер: айналмалы экономика, тұйық циклды экономика, индикаторлар, айналым индексі, агроөнеркәсіптік кешен, тұрақты даму, тұйық жеткізу тізбегі, ремануфактуринг.

KUNAFINA G.T.,*¹

c.e.s., associate professor.

*e-mail: gulzhan-kunafina@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-9646-3493

NURMUKHAMEDOV N.N.,²

c.e.s., professor.

e-mail: nyrbahit73@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-8551-0573

ISSAKHMETOVA A.N.,³

c.e.s., associate professor.

e-mail: i_a_n@inbox.ru

ORCID ID: 0000-0003-2342-2639

MUKHAMBETOVA Z.S.,¹

c.e.s., associate professor.

e-mail: zamiramuhambetova7@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-4057-0791

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Kazakhstan

²Kyzylorda Open University,
Kyzylorda, Kazakhstan

³Central Asian Innovation University,
Shymkent, Kazakhstan

ASSESSMENT AND MEASURABILITY OF CIRCULAR ECONOMY INDICATORS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF KAZAKHSTAN: FOREIGN EXPERIENCE AND METHODOLOGICAL APPROACHES

Abstract

In the context of the transformation of the agro-industrial complex of the Republic of Kazakhstan towards sustainable development, the development of a system of quantitatively measurable circular economy indicators is becoming increasingly important. The lack of unified methodological approaches to assessing circularity in agricultural production limits monitoring capabilities, interregional comparability and the justification of management decisions. The purpose of this article is to analyze international methodological approaches to circular economy assessment and to develop an adapted toolkit for measuring circular processes in the agro-industrial complex of Kazakhstan. The study applies methods of system analysis, comparative review, index modeling and expert assessment. International indicator frameworks are examined, including the approaches of the European Commission, the Ellen MacArthur Foundation and BEROC, as well as KPI-based methods for assessing business circularity. Based on international experience and the results of the author's calculations for agricultural enterprises in the northern regions of Kazakhstan, an integrated system of indicators is proposed that reflects the economic, environmental and social effects of closed production cycles. The integration of circular economy principles with digital and lean management tools is considered an important factor in improving the sustainability and competitiveness of agricultural production. The scientific novelty of the study lies in the development of an aggregated circularity index for the agro-industrial complex, adapted to the biological and seasonal characteristics of agriculture in Kazakhstan and based on the integration of LCA and ESG assessment methods. The practical significance of the results is determined by their applicability in agrarian policy design, sectoral program development and circular economy monitoring.

Keywords: circular economy, closed-loop economy, indicators, circularity index, agro-industrial complex, sustainable development, closed supply chains, remanufacturing.

Дата поступления статьи в редакцию: 10.01.2026