

МРТНИ: 06.71.07, 31.15.15

DOI: <https://doi.org/10.55871/2072-9847-2026-70-1-140-155>**Сатенова Д.***

докторант PhD,
Высшая школа экономики и туризма,
ЕНУ им. Л.Н.Гумилева
г. Астана, Республика Казахстан
e-mail: lady.satenova@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0529-3039

Терелянский П.

д.э.н., профессор,
РЭУ им. Г.В.Плеханова,
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: tereliansky@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0642-2901

Исаева Б.

доктор PhD, ассоциированный профессор,
Высшая школа экономики и туризма,
ЕНУ им. Л.Н.Гумилева
г. Астана, Республика Казахстан
e-mail: b.isayeva_78@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8109-2896

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Аннотация

В данной статье затронуты актуальные вопросы повышения экономической эффективности переработки нефтепродуктов при переходе к циркулярной модели развития в Республике Казахстан. Усиление требований к экологической безопасности, рост трансакционных и операционных издержек, связанных с управлением вторичными материальными потоками, а также маргинальная база нефтеперерабатывающей отрасли обуславливают необходимость модернизации традиционной линейной модели хозяйства и внедрения принципов циркулярной экономики.

Целью данного исследования является разработка и апробация экономико-математического инструментария для оценки экономической эффективности переработки нефтепродуктов с учетом параметров ресурсной замкнутости и вторичных материальных потоков. Методологическую основу данного исследования составляют методы системного и сравнительного анализа, корреляционно-регрессионного моделирования, определения коэффициентов эластичности и ресурсной эффективности.

Результаты исследования выявляют статистически значимую обратную зависимость между объемами переработки нефти и образованием нефтеотходов (коэффициент корреляции Пирсона $r = -0,930$; коэффициент детерминации $R^2 = 0,866$). Полученные значения указывают на наличие очень сильной обратной линейной связи, при которой 86,6% изменчивости объема образования нефтеотходов объясняется изменением объемов переработки. Значение коэффициента эластичности ($E = -1,41$) подтверждает высокую чувствительность системы: увеличение переработки на 1% сопровождается снижением образования отходов на 1,41%, что свидетельствует о наличии структурного сдвига в отрасли, связанного с изменением экологического регулирования и практик учета отходов с 2022 года. Утверждается, что для достижения устойчивого циркулярного равновесия требуется вовлечение в хозяйственный оборот не менее 42–45% вторичных материальных потоков.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке отраслевых программ ресурсной трансформации и формировании механизмов повышения конкурентоспособности нефтеперерабатывающей отрасли Республики Казахстан.

Ключевые слова: циркулярная экономика; нефтеперерабатывающая отрасль; экономическая эффективность; ресурсная эффективность; вторичные материальные потоки; корреляционно-регрессионный анализ; устойчивое развитие.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях трансформации мировой энергетики и усиления экологических требований вопросы повышения экономической эффективности нефтеперерабатывающей отрасли приобретают особую актуальность для Республики Казахстан. Рост себестоимости производства, увеличение экологических платежей, а также повышение затрат на управление вторичными материальными потоками создают дополнительные ограничения для поддержания конкурентоспособности отечественных нефтеперерабатывающих предприятий. При относительно умеренной глубине переработки нефти и ограниченной маржинальности отрасли указанные факторы приобретают системный характер и требуют пересмотра традиционной линейной модели хозяйствования с постепенным внедрением принципов циркулярной экономики (Lau et al., 2022; Jagaba et al., 2022).

Институциональной основой экологической и технологической трансформации энергетического сектора стала Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года (Президент РК, 2023), предусматривающая переход к более замкнутой модели экономического развития, развитие системы обращения вторичных ресурсов, а также внедрение принципов устойчивого управления производственными процессами. Важную роль в реализации данных направлений играет Министерство энергетики Республики Казахстан, осуществляющее государственное регулирование нефтегазового комплекса, модернизацию нефтеперерабатывающих мощностей и формирование отраслевой политики в сфере переработки нефти и повышения эффективности использования углеводородных ресурсов. Отраслевое регулирование осуществляется на основе Экологического кодекса Республики Казахстан (2021), Закона «О недрах и недропользовании» (2017), Закона «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» (2009), а также Концепции развития нефтеперерабатывающей отрасли Республики Казахстан на 2025–2040 годы (Правительство РК, 2025).

Согласно данным Бюро национальной статистики Республики Казахстан и аналитическим материалам отраслевых исследований, уровень переработки и утилизации промышленных отходов в стране остается недостаточным. В 2023 году доля переработки промышленных отходов составила 30,4 %, что более чем на 10 процентных пунктов ниже аналогичного показателя предыдущего года и существенно ниже целевого ориентира, установленного Министерством экологии и природных ресурсов Республики Казахстан на уровне 42 % (Energyprom.kz, 2024). При этом объем образования промышленных отходов в 2022 году достиг 888,1 млн тонн, увеличившись на 20,5 % по сравнению с 2017 годом, а суммарный накопленный объем отходов превысил 32 млрд тонн (Бюро национальной статистики Республики Казахстан [БНС АСПИР РК], 2023). Дополнительным индикатором экологической нагрузки являются данные о нарушениях природоохранного законодательства: в 2023 году было зарегистрировано 9,3 тыс. административных дел в сфере охраны окружающей среды, а деятельность 31 предприятия была временно приостановлена (Energyprom.kz, 2024). Данные тенденции свидетельствуют о сохраняющейся высокой ресурсной и экологической нагрузке на промышленный сектор экономики и подтверждают необходимость совершенствования системы управления материальными потоками.

В международных сопоставлениях Казахстан занимает умеренные позиции по показателям экологической эффективности и энергоёмкости экономики. Несмотря на определенные положительные изменения, страна сохраняет значительный потенциал для повышения ресурсной эффективности производства и сокращения углеродоемкости промышленности. В этой связи интеграция принципов циркулярной экономики в нефтеперерабатывающий сектор рассматривается как один из инструментов повышения экономической отдачи отрасли, снижения экологических рисков и укрепления долгосрочной устойчивости производственных систем.

Несмотря на наличие нормативных ориентиров и программ модернизации отрасли, в научной литературе пока недостаточно разработаны методы количественной оценки экономической эффективности переработки нефтепродуктов в условиях перехода к циркулярной модели развития. Большинство существующих исследований сосредоточено преимущественно на технологических и экологических аспектах переработки нефти, тогда как экономико-математический анализ взаимосвязи между объемами переработки, динамикой вторичных материальных потоков и экономическими результатами деятельности предприятий остается ограниченным.

Научная новизна исследования заключается в разработке и апробации экономико-математической модели оценки эффективности переработки нефтеотходов, основанной на интеграции корреляционно-регрессионного анализа, коэффициента эластичности и показателя ресурсной эффективности. В отличие от существующих исследований, акцентирующих внимание преимущественно на технологических аспектах переработки отходов, предложенный подход позволяет количественно оценить взаимосвязь между масштабами переработки нефти, динамикой вторичных материальных потоков и экономическими результатами функционирования отрасли. Полученные результаты позволяют определить ориентиры достижения циркулярного равновесия в нефтеперерабатывающей отрасли.

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологической основой исследования выступают положения теории устойчивого развития и концепции циркулярной экономики, в рамках которых производственные системы рассматриваются как совокупность взаимосвязанных материальных и энергетических потоков (International Energy Agency, 2022). В данном контексте нефтеперерабатывающая отрасль анализируется как интегрированная экономическая система, где вторичные материальные потоки выступают важным фактором, влияющим на структуру производственных издержек, уровень ресурсной интенсивности и общую экономическую результативность отрасли (Adedayo-Ojo et al., 2025; Yeo et al., 2023).

В исследовании использован системный подход, позволивший рассмотреть процессы переработки нефтепродуктов в совокупности с образованием и повторным вовлечением вторичных материальных потоков. Такой подход обеспечивает возможность анализа взаимосвязи между производственными и экологическими параметрами функционирования отрасли. Применение сравнительного анализа позволило сопоставить динамику переработки нефти и объемов образования сопутствующих отходов в исследуемом периоде и выявить устойчивые тенденции изменения ресурсной нагрузки (Lau et al., 2022; Jagaba et al., 2022).

Эмпирическую базу исследования составили официальные статистические данные Бюро национальной статистики Республики Казахстан, аналитические материалы Министерства энергетики Республики Казахстан, государственные программные документы, а также открытая корпоративная отчетность предприятий нефтеперерабатывающего сектора за период 2020–2024 гг. В анализ включены показатели объемов переработки нефти, образования нефтеотходов, доли их повторного вовлечения в хозяйственный оборот, а также параметры экономического эффекта от вторичного использования ресурсов (БНС АСПИР РК, 2024; Правительство РК, 2023; KazMunayGas, 2024).

Для количественной оценки взаимосвязи между объемами переработки нефти и динамикой образования нефтеотходов применен корреляционно-регрессионный анализ. На первом этапе рассчитан коэффициент линейной корреляции Пирсона, позволяющий определить степень статистической связи между исследуемыми показателями.

Коэффициент линейной корреляции Пирсона, позволяющий определить степень статистической взаимосвязи между объемом переработки нефти и образованием нефтеотходов, рассчитывается по следующей формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

где:

- r — коэффициент линейной корреляции Пирсона;
- X_i — значение объема переработки нефти в i -м наблюдении;
- Y_i — значение объема образования нефтеотходов в i -м наблюдении;
- \bar{X} — среднее значение объема переработки нефти;
- \bar{Y} — среднее значение объема образования нефтеотходов;
- n — количество наблюдений в выборке.

На втором этапе построена линейная регрессионная модель методом наименьших квадратов (OLS), позволяющая количественно оценить влияние объема переработки нефти на образование отходов.

Линейная регрессионная модель имеет следующий общий вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2)$$

где:

- Y — объем образования нефтеотходов;
- X — объем переработки нефти;
- β_0 — свободный член;
- β_1 — коэффициент регрессии;
- ε — случайная ошибка модели.

Объясняющая способность модели оценивается с использованием коэффициента детерминации R^2 . Дополнительно для оценки статистической значимости модели рассчитаны стандартные ошибки коэффициентов, t -статистика, p -значения, а также F -критерий Фишера.

Для оценки чувствительности образования отходов к изменению масштабов переработки рассчитан коэффициент эластичности, отражающий относительное изменение объема вторичных материальных потоков при изменении объема переработки нефти.

Коэффициент эластичности рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{dY}{dX} \times \frac{X}{Y} \quad (3)$$

где:

E — коэффициент эластичности;

X — объем переработки нефти;

Y — объем образования нефтеотходов;

dY/dX — коэффициент регрессии, характеризующий изменение объема отходов при изменении объема переработки нефти.

Проведена оценка экономической эффективности вовлечения вторичных материальных потоков посредством расчета экономического эффекта и коэффициента ресурсной эффективности. Это позволило определить ориентировочные параметры достижения циркулярного равновесия в нефтеперерабатывающей отрасли и оценить потенциал повышения эффективности использования вторичных ресурсов.

Следует отметить, что построенная модель носит однофакторный характер и основана на ограниченном числе статистических наблюдений, поскольку учитывает исключительно влияние объемов переработки нефти на образование отходов. В анализ не включены технологические, институциональные и организационно-управленческие факторы, которые также могут оказывать влияние на динамику вторичных материальных потоков. В связи с этим результаты интерпретируются в пределах исследуемого временного интервала и не предполагают автоматической экстраполяции на иные периоды или структурные условия функционирования отрасли.

Статистическая обработка данных и построение регрессионной модели выполнены с использованием программного пакета Microsoft Excel.

Таким образом, применение системного анализа, сравнительного подхода и эконометрического моделирования позволило выявить закономерности формирования ресурсной нагрузки и определить количественные ориентиры повышения экономической эффективности переработки нефтеотходов в условиях перехода нефтеперерабатывающей отрасли Республики Казахстан к циркулярной модели развития.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Переход к циркулярной экономике в современной экономической теории рассматривается как ответ на ограничения традиционной линейной модели развития, основанной на интенсивном потреблении природных ресурсов и образовании значительных объемов отходов. В отличие от линейной модели, предполагающей последовательность «добыча — производство — потребление — утилизация», циркулярная экономика ориентирована на замыкание материальных потоков, повторное использование ресурсов и снижение экологической нагрузки на производственные системы.

В научной литературе циркулярная экономика рассматривается не только как экологическая концепция, но и как экономическая модель, позволяющая формировать дополнительную стоимость за счет более эффективного использования ресурсов и оптимизации производственных процессов. По мнению ряда исследователей, внедрение циркулярных принципов способствует повышению устойчивости отраслей промышленности, снижению ресурсной зависимости и формированию новых источников экономического роста (International Energy Agency, 2022; UNEP, 2021).

Особое внимание вопросам циркулярной трансформации уделяется в исследованиях, посвященных энергоемким и ресурсозависимым отраслям, включая нефтегазовый сектор. Так, Lau et al. (2022) предлагают системную модель внедрения принципов циркулярной экономики в нефтегазовой промышленности, в рамках которой повторное вовлечение вторичных углеводородных потоков рассматривается как источник повышения экономической эффективности и устойчивости отрасли. В свою очередь, Jagaba et al. (2022) в рамках систематического обзора отмечают значительный потенциал переработки нефтешламов и других видов нефтеотходов, подчеркивая возможность их коммерциализации при использовании современных технологических решений.

В ряде исследований также рассматривается влияние циркулярных моделей бизнеса на устойчивость энергетических компаний. В частности, Yeо et al. (2023) отмечают, что внедрение циркулярных практик в энергоемких отраслях способствует снижению производственных издержек и повышению устойчивости компаний к колебаниям цен на сырьевые ресурсы. Khlaifat et al. (2025) подчеркивают, что интегра-

ция принципов циркулярной экономики в нефтяной промышленности требует перехода от реактивных методов утилизации отходов к превентивным стратегиям управления ресурсами. Аналогичные выводы представлены в работе Adedayo-Ojo et al. (2025), где подчеркивается растущий интерес научного сообщества к количественной оценке эффективности циркулярных решений, особенно в странах с развивающейся экономикой.

В контексте Республики Казахстан вопросы развития нефтегазового сектора и повышения его устойчивости рассматриваются в ряде аналитических и отраслевых исследований. В частности, в докладе *Kazakhstan Energy Outlook (2025)* подчеркивается необходимость модернизации нефтеперерабатывающей отрасли, повышения глубины переработки нефти и адаптации производственных процессов к глобальным экологическим требованиям. Важную роль в формировании отраслевой политики играет Министерство энергетики Республики Казахстан, которое осуществляет государственное регулирование нефтеперерабатывающего сектора, координирует модернизацию нефтеперерабатывающих мощностей и реализует программы повышения эффективности использования углеводородных ресурсов. В стратегических документах и корпоративной отчетности АО НК «КазМунайГаз» также подчеркивается необходимость интеграции принципов устойчивого развития и ESG-подходов в систему управления ресурсами и производственными отходами. Вместе с тем анализ отечественных научных публикаций показывает, что большинство исследований сосредоточено преимущественно на технологических и организационно-экономических аспектах развития нефтеперерабатывающей отрасли, включая повышение глубины переработки нефти и модернизацию нефтеперерабатывающих мощностей (Makhanov, Shalbolova & Yegemberdiyeva, 2022). В данных работах рассматриваются вопросы развития нефтегазового комплекса Казахстана, повышения энергетической эффективности и модернизации отраслевой инфраструктуры. При этом экономические аспекты управления вторичными материальными потоками и количественная оценка эффективности их вовлечения в хозяйственный оборот остаются недостаточно разработанными.

Таким образом, несмотря на значительное количество исследований, посвященных циркулярной экономике и устойчивому развитию нефтегазового сектора, в научной литературе сохраняется недостаток экономико-математических моделей, позволяющих количественно оценить взаимосвязь между масштабами переработки нефти, образованием вторичных материальных потоков и экономической эффективностью функционирования отрасли.

Данное обстоятельство определяет научную актуальность настоящего исследования, направленного на разработку и апробацию экономико-математического инструментария оценки эффективности переработки нефтепродуктов в условиях перехода к циркулярной модели развития.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В данном разделе представлены результаты анализа производственных и экологических характеристик нефтеперерабатывающей отрасли Республики Казахстан за период 2020–2024 гг. Эмпирическую основу исследования составили официальные статистические данные Бюро национальной статистики Республики Казахстан, а также материалы корпоративной отчетности предприятий нефтеперерабатывающего сектора. В анализ включены показатели добычи и переработки нефти, объемы образования нефтеотходов, а также данные об их переработке, утилизации и повторном использовании.

Для оценки масштабов ресурсной нагрузки были систематизированы ключевые производственные и экологические показатели функционирования отрасли, динамика которых представлена на рисунке 1.

Рисунок 1. Динамика добычи, переработки нефти и образования нефтеотходов за 2020–2024 гг.



Примечание: составлено авторами на основе данных Бюро национальной статистики Республики Казахстан (БНС АСПиР РК), аналитических материалов Министерства энергетики Республики Казахстан и годовых отчетов АО НК «КазМунайГаз» (2025).

Анализ представленных данных показывает, что объем добычи нефти в исследуемый период характеризуется относительной стабильностью. В 2020–2021 гг. данный показатель находился на сопоставимом уровне, в 2022 г. наблюдается его незначительное снижение, после чего в 2023–2024 гг. фиксируется рост добычи, обеспечивший достижение максимального значения за анализируемый период. Данная динамика свидетельствует о сохранении устойчивых производственных позиций нефтедобывающего сектора экономики.

Объем переработки нефти демонстрирует положительную динамику в 2020–2022 гг., что отражает повышение загрузки производственных мощностей нефтеперерабатывающих предприятий и усиление перерабатывающего сегмента отрасли. В 2022 г. был достигнут наибольший показатель переработки, после чего в 2023–2024 гг. отмечается его незначительное снижение при сохранении относительно высокого уровня переработки сырья.

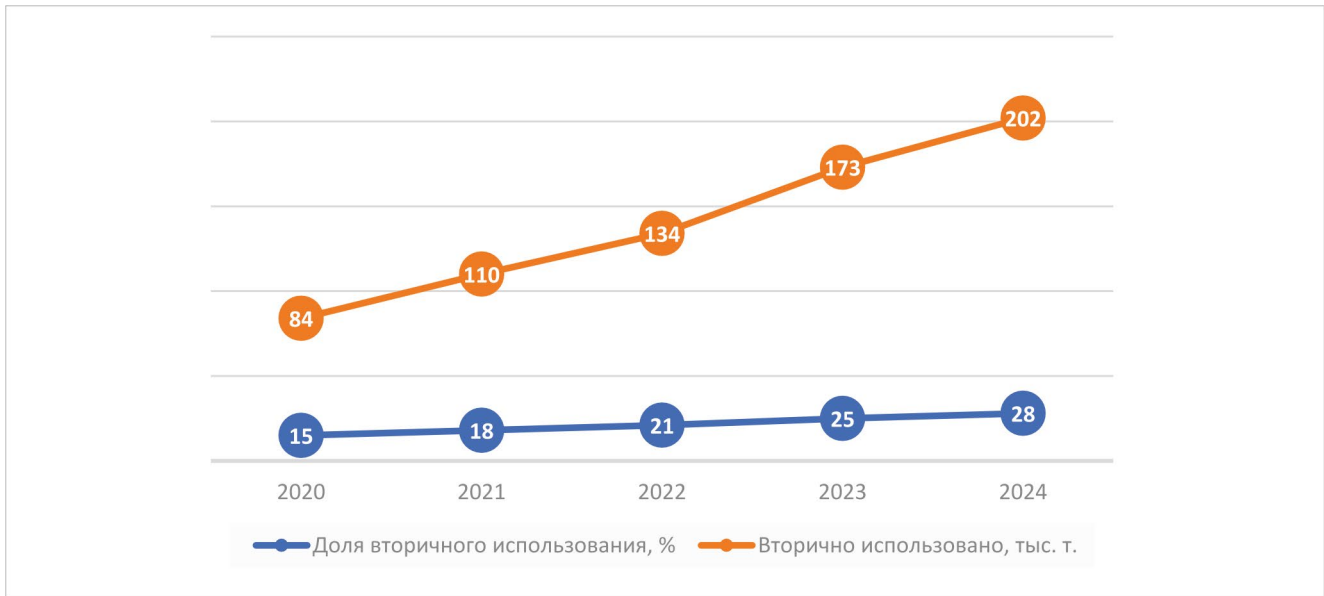
В то же время динамика образования нефтяных отходов характеризуется более выраженными колебаниями. В 2020–2021 гг. объем отходов оставался на сравнительно высоком уровне, тогда как в 2022 г. наблюдается его существенное сокращение. В последующие годы фиксируется умеренный рост данного показателя, что может быть обусловлено изменениями технологических процессов переработки нефти и особенностями производственной деятельности предприятий отрасли.

Особый интерес представляет динамика удельного веса нефтяных отходов, который начиная с 2022 г. демонстрирует заметную тенденцию к увеличению. Рост данного показателя указывает на изменение соотношения между объемами переработки нефти и количеством образующихся отходов, что может отражать трансформацию технологических параметров производства или изменение методологических подходов к их учету.

Таким образом, анализ представленных на рисунке данных свидетельствует о сохранении относительной устойчивости основных производственных показателей нефтяной отрасли Республики Казахстан при одновременном изменении структуры образования нефтяных отходов и увеличении их удельного веса в процессе переработки нефти.

Следующим этапом анализа стала оценка уровня вовлечения нефтеотходов в хозяйственный оборот. Динамика доли вторичного использования нефтеотходов представлена на рисунке 2.

Рисунок 2. Доля вторичного использования нефтеотходов в нефтеперерабатывающей отрасли Казахстана за 2020–2024 гг.



Примечание: составлено авторами на основе аналитических материалов Министерства энергетики Республики Казахстан и годовых отчетов АО НК «КазМунайГаз» (2025).

Как видно из представленных данных, в период 2020–2024 гг. наблюдается постепенное увеличение доли повторного использования нефтеотходов. Если в 2020 году данный показатель составлял около 15 %, то к 2024 году он достиг уровня 28 %. Это свидетельствует о постепенном развитии практик переработки отходов и расширении возможностей их повторного вовлечения в производственный цикл.

Вместе с тем достигнутые значения пока остаются недостаточными для формирования полноценной циркулярной модели управления материальными потоками. Значительная часть нефтеотходов по-прежнему утилизируется традиционными методами либо направляется на захоронение, что ограничивает потенциал повышения ресурсной эффективности отрасли.

Для более детального анализа структуры вторичных материальных потоков был проведен структурно-технологический анализ морфологического состава нефтеотходов и существующих мощностей по их переработке (таблица 1).

Таблица 1. Морфологическая структура нефтеотходов и мощности по переработке в РК

Вид отходов	Доля в общем объеме, %	Ключевые предприятия-переработчики	Метод переработки
Донные шламы	60%	АНПЗ, ПНХЗ, West Dala	Механическая сепарация
Шламы очистных сооружений	15%	ПКОП, Nasar Solutions	Биорекультивация/центрифугирование
Замазученные грунты	15%	Эко-Техникс	Термическая десорбция
Буровой шлам	10%	Специализированные сервисные компании	Солидификация/инертизация

Примечание: составлено авторами на основе данных БНС АСПуР РК; годовых отчетов АО НК «КазМунайГаз»; доклада Kazakhstan Energy Outlook (2024); Ассоциации «KAZENERGY» (2024).

Результаты анализа показывают, что наибольшую долю в структуре отходов занимают донные шламы и шламы очистных сооружений, суммарная доля которых составляет около 75 %. Данные виды отходов обладают высоким потенциалом извлечения углеводородных фракций и могут рассматриваться как значимый ресурс для вторичной переработки. Вместе с тем преобладание технологий типа *end-of-pipe* указывает на реактивный характер управления отходами, при котором основное внимание уделяется их обезвреживанию, а не предотвращению образования.

Для количественной оценки взаимосвязи между объемами переработки нефти и образованием нефтеотходов был проведен корреляционно-регрессионный анализ. Полученные результаты свидетельствуют о наличии очень высокой обратной статистической связи между рассматриваемыми показателями. Значение коэффициента корреляции Пирсона составило $r = -0,93$, что указывает на сильную линейную зависимость. Коэффициент детерминации $R^2=0,866$ показывает, что 86,6% вариации объема образования отходов объясняется изменением объемов переработки нефти, тогда как остальные 13,4% приходятся на долю неучтенных факторов, включая регуляторные изменения.

Высокий уровень корреляции отражает тесную связь между производственными процессами переработки нефти и формированием вторичных материальных потоков. При этом отрицательное значение коэффициента регрессии свидетельствует о наличии обратной зависимости: увеличение объемов переработки нефти сопровождается снижением образования отходов. Данный результат может быть связан со структурными изменениями в отрасли и усилением экологического регулирования после 2022 года.

Для количественной оценки выявленной зависимости был проведен корреляционно-регрессионный анализ, позволивший определить влияние объемов переработки нефти на образование нефтеотходов. Полученные результаты свидетельствуют о наличии устойчивой статистической связи между рассматриваемыми показателями и указывают на сохранение высокой ресурсной чувствительности нефтеперерабатывающей отрасли.

В результате проведенного анализа получена линейная модель зависимости объема образования нефтеотходов (Y) от объема переработки нефти (X):

$$Y=1150,8-0,0364X \tag{4}$$

где:

Y — объем образования нефтеотходов, тыс. тонн;

X — объем переработки нефти, тыс. тонн;

-0,0364 — коэффициент регрессии (наклон), показывающий изменение объема отходов при изменении переработки на 1 тыс. тонн;

1150,8 — свободный член (константа), не имеющий самостоятельной экономической интерпретации вне исследуемого диапазона данных.

Таблица 2. Оценка точности регрессионной модели

Переменная	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-статистика	p-value
Константа	1150,82316	153,0933842	7,517131887	0,004878828
Переработка нефти (X)	-0,036405841	0,008261511	-4,406680628	0,021675043

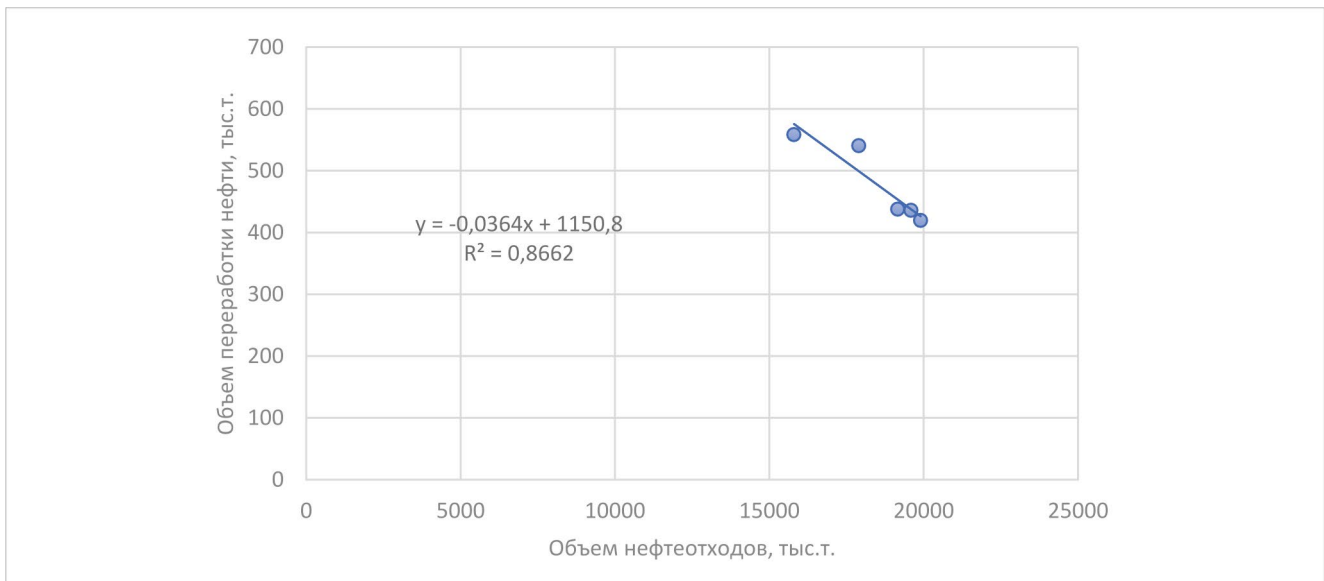
Примечание: составлено авторами на основе данных Бюро национальной статистики Республики Казахстан (БНС АСПиР РК), аналитических материалов Министерства энергетики Республики Казахстан и годовых отчетов АО НК «КазМунайГаз» (2025).

Полученная модель отражает количественную зависимость между объемом переработки нефти и формированием нефтеотходов. Значение коэффициента регрессии $-0,0364$ показывает, что увеличение переработки нефти на 1 тыс. тонн, в среднем по совокупности данных за 2020–2024 гг., ассоциируется со снижением объема образования отходов на 36,4 тонны. Данный результат, на первый взгляд противоречащий технологической логике, объясняется структурными изменениями в системе учета и обращения с отходами, вызванными ужесточением экологического регулирования с 2022 года.

Стандартная ошибка коэффициента при переменной X составляет 0,00826, что при уровне значимости $p = 0,0217 (<0,05)$ подтверждает статистическую значимость влияния объема переработки на образование отходов на 95% доверительном уровне. Константа модели также является статистически значимой ($p = 0,0049$), однако ее интерпретация в отрыве от исследуемого диапазона данных некорректна.

Для визуализации выявленной зависимости построена диаграмма рассеяния, отражающая связь между объемами переработки нефти и образованием нефтеотходов (рисунок 3). Линия тренда демонстрирует устойчивую линейную зависимость между рассматриваемыми показателями, что подтверждается значением коэффициента детерминации $R^2=0,866$. Это означает, что построенная модель объясняет 86,6% вариации объема образования нефтеотходов, тогда как остальные 13,4% приходятся на долю неучтенных факторов.

Рисунок 3. Зависимость объема образования нефтеотходов от объемов переработки нефти



Примечание: составлено авторами на основе данных БНС АСПиР РК и годовых отчетов АО НК «КазМунайГаз» (2020–2024 гг.).

Как видно из рисунка, наблюдается четкое разделение данных на два кластера: высокие значения отходов при переработке до 18 тыс. тонн (2020–2021 гг.) и более низкие значения при переработке свыше 19 тыс. тонн (2022–2024 гг.). Это наглядно демонстрирует структурный сдвиг, произошедший в отрасли. Отклонение точек от единой линии тренда обусловлено не краткосрочными колебаниями, а изменением самих условий формирования отчетности по отходам. Для оценки точности построенной модели проведено сопоставление фактических значений объема образования нефтеотходов с расчетными значениями, полученными по регрессионной зависимости (таблица 3).

Таблица 3. Оценка параметров регрессионной модели

Год	Переработка (X), тыс. т	Нефтеотходы (Y _{факт.}), тыс. т	Нефтеотходы (Y _{расч.}), тыс. т	Абсолютное отклонение	Погрешность, %
2020	15800	558,4	576,2	-17,8	3,19
2021	17900	540,5	499,4	+41,1	7,60
2022	19 900	419,5	426,4	-6,9	1,64
2023	19 593	435,9	437,7	-1,8	0,41
2024	19 158	437,7	453,5	-15,8	3,61

Примечание: составлено авторами на основе данных БНС АСПиР РК (2022–2024); годовых отчетов АО НК «КазМунайГаз»; доклада Kazakhstan Energy Outlook (2025); Ассоциации «KAZENERGY» (2024).

Сопоставление фактических и расчетных значений показывает, что регрессионная модель достаточно точно воспроизводит динамику образования нефтеотходов в каждом из выделенных временных периодов. Для наблюдений 2022–2024 гг., которые характеризуются новыми условиями регулирования, величина отклонений не превышает 3,6 %, что свидетельствует о высокой точности аппроксимации. Для данных 2020–2021 гг. погрешность составляет 3,2 – 7,6 %, что также является приемлемым показателем с учетом различий в экономических и регуляторных условиях.

Оценка параметров модели выполнена методом наименьших квадратов. Объясняющая способность модели подтверждается значением коэффициента детерминации $R^2 = 0,866$, что означает, что 86,6 % вариации объема нефтеотходов объясняется изменением объемов переработки нефти. Скорректированный коэффициент детерминации ($Adjusted R^2 = 0,822$) также свидетельствует о высокой степени объясняющей способности модели с учетом ограниченного числа наблюдений.

Статистическая значимость модели в целом подтверждается значением F-критерия Фишера: $F = 19,42$ при $p = 0,0217 (<0,05)$. Это указывает на надежность выявленной зависимости и отвергает гипотезу о случайности связи между объемами переработки нефти и образованием нефтеотходов. Проверка значимости коэффициента при объясняющей переменной показывает $t = -4,41$ при $p = 0,0217 (<0,05)$, что свидетельствует о статистически значимом влиянии объема переработки нефти на формирование вторичных материальных потоков.

Таким образом, корреляционно-регрессионный анализ подтвердил наличие устойчивой статистической связи между рассматриваемыми показателями: коэффициент корреляции Пирсона составил $r = -0,93$, что соответствует очень высокой тесноте связи. Полученная модель может быть использована для аналитической оценки тенденций при условии учета структурного сдвига 2022 года, вызванного изменением экологического регулирования и практик учета отходов.

Экономический эффект от вовлечения нефтеотходов в хозяйственный оборот определяется как сумма экономии затрат на утилизацию и дохода от извлечения вторичных углеводородных компонентов. Средняя стоимость утилизации нефтешламов в нефтеперерабатывающей отрасли составляет около 20–25 тыс. тенге за тонну, тогда как доход от извлечения углеводородных фракций оценивается в среднем в 15–17 тыс. тенге за тонну. При объеме переработки нефтеотходов порядка 127 тыс. тонн совокупный экономический эффект составляет около 4,8–4,9 млрд тенге ежегодно (АО НК «КазМунайГаз», 2025).

Для характеристики устойчивости функционирования отрасли выполнен расчет коэффициента эластичности и показателя ресурсной эффективности, результаты которого представлены в таблице 4.

Таблица 4. Показатели эффективности и целевые параметры циркулярного равновесия

Показатель	Текущее значение (2024)	Целевой ориентир	Экономический эффект
Коэффициент эластичности (E)	-1,41	< 1,00	Снижение экологических рисков
Уровень рециклинга (КМГ)	28–30%	42–45%	+4,84 млрд тенге ежегодно
Утилизация исторических отходов	1 099,8 тыс. т	Полная ликвидация	Снижение ликвидационных обязательств
Коэффициент ресурсной эффективности (K _{res})	0,93	> 0,95	Сокращение объемов захоронения

Примечание: составлено авторами на основе данных БНС АСПУР РК; годовых отчетов АО НК «КазМунайГаз»; доклада Kazakhstan Energy Outlook (2024); Ассоциации «KAZENERGY» (2024).

В результате расчета коэффициента эластичности получено значение $E = -1,41$. Отрицательный знак коэффициента подтверждает выявленную ранее обратную зависимость: увеличение объема переработки нефти на 1 % сопровождается снижением образования нефтеотходов на 1,41 %. Полученное значение по модулю превышает единицу, что свидетельствует о высокой чувствительности системы: даже незначительное изменение объемов переработки приводит к существенному изменению объемов образования отходов. При этом отрицательный знак эластичности указывает на наличие структурного сдвига в отрасли, связанного с изменением экологического регулирования и практик учета отходов с 2022 года.

Коэффициент ресурсной эффективности $K_{res} = 0,93$ отражает относительно высокий уровень вовлечения текущих отходов в хозяйственный оборот. Вместе с тем значение показателя остается ниже целевого уровня ($> 0,95$), необходимого для минимизации объемов захоронения и формирования более устойчивой модели обращения с вторичными ресурсами.

Отдельного внимания заслуживает динамика уровня рециклинга. По данным корпоративной отчетности АО НК «КазМунайГаз», доля переработки и повторного использования нефтеотходов в последние годы составляет 28–30 %, тогда как для достижения устойчивого циркулярного равновесия требуется увеличение данного показателя до 42–45 %. Расширение практик рециклинга способно обеспечить дополнительный экономический эффект, который оценивается примерно в 4,84 млрд тенге ежегодно. Данная оценка получена на основе сокращения затрат на утилизацию отходов и потенциального дохода от повторного использования углеводородных компонентов (АО НК «КазМунайГаз», 2025).

Для оценки положения Казахстана в международном контексте был проведен сравнительный анализ эффективности управления нефтеотходами (таблица 5).

Таблица 5. Сравнение эффективности управления нефтеотходами

Параметр	Казахстан (КМГ)	ЕС (Eni/Shell)	КНР (Sinopet)
Индекс циркулярности	Низкий	Высокий	Средний
Коэффициент эластичности	-1,41	0,85–0,95	1,15
Доминирующая стратегия	Технологии конечной утилизации (end-of-pipe)	Предотвращение образования отходов (source reduction)	Индустриальный симбиоз
Статус декаплинга	Не достигнут	Достигнут	Формируется

Примечание: составлено авторами на основе данных БНС АСПиР РК; годовых отчетов АО НК «КазМунайГаз»; доклада Kazakhstan Energy Outlook (2024); Ассоциации «KAZENERGY» (2024).

Сравнительный анализ показывает, что уровень эффективности управления нефтеотходами в Казахстане остается ниже показателей ведущих международных нефтегазовых компаний. В странах Европейского союза, включая компании Eni и Shell, достигнут эффект декаплинга ($E < 1$), при котором рост объемов переработки сопровождается снижением экологической нагрузки за счет внедрения технологий предотвращения образования отходов и повышения глубины переработки сырья.

В Китае наблюдается промежуточная модель управления ресурсами. Крупные нефтеперерабатывающие компании, такие как Sinopet, активно развивают механизмы индустриального симбиоза и интеграции производственных цепочек, что позволяет постепенно снижать ресурсную нагрузку и повышать уровень повторного использования отходов.

В Казахстане в настоящее время сохраняется преимущественно реактивная модель управления отходами, основанная на применении технологий типа end-of-pipe. Подобный подход предполагает ликвидацию отходов на завершающих стадиях производственного цикла и не обеспечивает существенного сокращения их образования.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости перехода к более превентивным механизмам управления материальными потоками, включая развитие технологий повторного использования нефтешламов, расширение практик рециклинга и внедрение элементов индустриального симбиоза в нефтеперерабатывающей отрасли.

ДИСКУССИЯ

Полученные результаты позволяют рассмотреть эффективность переработки нефтеотходов в контексте принципов циркулярной экономики и существующих институциональных условий функционирования отрасли. В отличие от традиционной линейной модели, ориентированной на извлечение, переработку и утилизацию, циркулярная парадигма предполагает разрыв связи между экономическим ростом и экологической нагрузкой.

Эконометрическая верификация показала наличие очень сильной обратной зависимости между объемом переработки нефти и образованием нефтеотходов ($r = -0,930$; $R^2 = 0,866$). Коэффициент детерминации свидетельствует о том, что 86,6% изменчивости объема отходов объясняется изменением масштабов переработки, что подтверждает технологически детерминированный характер образования вторичных материальных потоков.

Особого внимания заслуживает значение коэффициента эластичности $E = -1,41$. Отрицательный знак указывает на наличие структурного сдвига в отрасли: рост объемов переработки сопровождается снижением образования отходов, что стало результатом ужесточения экологического регулирования и внедрения обязательных программ управления отходами с 2022 года. Значение по модулю, превышающее единицу, свидетельствует о высокой чувствительности системы: изменение объемов переработки на 1% приводит к изменению образования отходов на 1,41%.

В международном контексте полученные результаты требуют осторожной интерпретации. В странах Европейского союза, где эффект декаплинга достигнут, коэффициент эластичности находится в пределах 0,85–0,95 и имеет положительный знак, что отражает замедление роста отходов по мере увеличения переработки. В Казахстане отрицательная эластичность фиксирует принципиально иную ситуацию: не замедление роста, а абсолютное снижение отходов при росте переработки. Это свидетельствует не о зрелости циркулярной модели, а о переходном характере текущего этапа, связанном с инвентаризацией и вовлечением в отчетность ранее накопленных исторических отходов.

Коэффициент ресурсной эффективности $K_{res} = 0,93$ отражает высокую степень вовлечения текущих отходов в хозяйственный оборот. Вместе с тем значение показателя остается ниже целевого уровня ($> 0,95$),

необходимого для минимизации объемов захоронения. Структурный анализ показывает, что в отрасли преобладают технологии типа *end-of-pipe*, ориентированные на очистку и обезвреживание, а не на предотвращение образования отходов. Международная практика (IEA, 2022) свидетельствует, что устойчивое снижение ресурсной нагрузки достигается через переход к стратегиям *source reduction* и индустриальному симбиозу.

Расчеты экономического эффекта демонстрируют положительную динамику финансовых результатов вторичного вовлечения нефтеотходов, что подтверждает выводы Jagaba et al. (2022) о высокой коммерческой ценности нефтешлам и отработанных масел. Для достижения устойчивого циркулярного равновесия необходимо увеличение доли рециклинга до 42–45%, что позволит не только сократить объемы захоронения, но и обеспечить дополнительный экономический эффект порядка 4,84 млрд тенге ежегодно.

Следует учитывать, что высокий уровень объясняющей способности модели частично обусловлен структурным сдвигом в отрасли после 2022 года, связанным с изменением экологического регулирования и практик учета отходов.

Таким образом, результаты подтверждают двойственность текущей модели: с одной стороны, зафиксирован позитивный структурный сдвиг, выражающийся в снижении отходоёмкости переработки; с другой стороны, сохраняется высокая зависимость системы от масштабов производства, а преобладание реактивных технологий ограничивает потенциал перехода к полноценной циркулярной модели. Дальнейшее повышение экономической эффективности невозможно без институциональной трансформации и перехода от компенсаторных механизмов к превентивным циркулярным стратегиям.

В теоретическом плане полученные результаты развивают положения концепции циркулярной экономики применительно к энергоемким отраслям с высокой долей сырьевого производства. В прикладном аспекте исследование демонстрирует, что экономико-математический инструментарий (корреляционно-регрессионное моделирование, расчет коэффициентов эластичности и ресурсной эффективности) позволяет количественно оценить степень и характер циркулярной трансформации отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования разработан и апробирован экономико-математический инструментарий оценки эффективности переработки нефтеотходов, основанный на корреляционно-регрессионном анализе, расчете коэффициентов эластичности и ресурсной эффективности. Применение данного подхода позволило перейти от технологического описания процессов к количественной оценке системных взаимосвязей между масштабами переработки нефти, динамикой образования вторичных материальных потоков и экономическими результатами функционирования отрасли.

Установлена статистически значимая обратная зависимость между объемом переработки нефти и образованием нефтеотходов: коэффициент корреляции Пирсона составил $r = -0,930$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,866$. Это означает, что 86,6% изменчивости объема отходов объясняется изменением объемов переработки, а отрицательный знак связи свидетельствует о наличии структурного сдвига, связанного с изменением экологического регулирования и практик учета отходов с 2022 года. Значение коэффициента эластичности $E = -1,41$ подтверждает высокую чувствительность системы: увеличение переработки на 1% сопровождается снижением образования отходов на 1,41%, что отличает текущий этап развития отрасли от предшествующего периода.

Выявленная положительная динамика экономического эффекта от вовлечения нефтеотходов в хозяйственный оборот подтверждает, что циркулярные решения способны выступать источником добавленной стоимости. Достижение целевого уровня рециклинга в 42–45% позволит не только сократить объемы захоронения, но и обеспечить дополнительный экономический эффект в размере 4,84 млрд тенге ежегодно.

Научная значимость работы заключается в интеграции методов корреляционно-регрессионного анализа и оценки эластичности в систему показателей циркулярной зрелости отрасли. Полученные количественные параметры могут служить ориентирами при разработке отраслевых стратегий, инвестиционных программ и механизмов государственного регулирования.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученной модели при разработке отраслевых программ ресурсной трансформации и формировании механизмов повышения эффективности обращения вторичных материальных потоков в нефтеперерабатывающей отрасли Республики Казахстан.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на построение многофакторных динамических моделей, учитывающих инвестиционные лаги, технологические инновации и институциональные ограничения. Актуальными задачами остаются разработка сценарных прогнозов достижения эффекта декарбонизации и оценка влияния «зеленых» финансовых инструментов на ресурсную интенсивность переработки.

Таким образом, переход к циркулярной модели развития нефтеперерабатывающей отрасли Республики Казахстан следует рассматривать не только как экологическую необходимость, но и как стратегический фактор повышения ее экономической устойчивости и конкурентоспособности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Adedayo-Ojo, A. A., Shad, M. K., & Poon, W. C. (2025). Circular economy in the oil and gas industry: A data-driven bibliometric analysis. *Processes*, 13(11), 3604. <https://doi.org/10.3390/pr13113604>
2. АО НК «КазМунайГаз». (2025). Отчет об устойчивом развитии. <https://www.kmg.kz/sustainable-development/>
3. Бюро национальной статистики Республики Казахстан. (2023). Статистика образования и переработки промышленных отходов. <https://stat.gov.kz/en/green-economy-indicators/>
4. Бюро национальной статистики Республики Казахстан. (2024). Экологическая статистика Республики Казахстан. <https://stat.gov.kz/ru/industries/environment/stat-eco/>
5. Energyprom.kz. (2024). Переработка и утилизация промышленных отходов в Казахстане. <https://energyprom.kz/articles-ru/industries-ru/kazakhstan-otkatilsya-nazad-v-voprosah-pererabotki-promyshlennyh-othodov/>
6. International Energy Agency. (2025). World energy outlook 2025. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/0a7a40a4-5dcb-4d6e-a7ad-76a1c90ec8eb/WorldEnergyOutlook2025.pdf>
7. Jagaba, A. H., et al. (2022). Circular economy potential and contributions of petroleum industry sludge utilization to environmental sustainability. *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100115. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100115>
8. KAZENERGY Association. (2024). Kazakhstan Energy Outlook 2024. https://s3-prod.exia.kz/articles/Kazakhstan_Energy_Outlook_2025_EN.pdf
9. Khlaifat, A., et al. (2025). Integrating circular economy principles in petroleum industry. *Processes*, 13(11), 3604. <https://doi.org/10.3390/pr13113604>
10. Lau, P. J., Ng, W. P. Q., How, B. S., Lim, C. H., & Lam, H. L. (2022). Paving a way toward circular economy for oil and gas industry: A conceptual modelling of re-refining process through solvent extraction and hydrofinishing pathway. *Journal of Cleaner Production*, 380, 134839. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134839>
11. Маханов, С. С., Шалболова, У. Ж., & Егембердиева, С. М. (2022). Влияние инвестиционной деятельности в секторе нефтепереработки на экономику Казахстана. *Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилёва. Экономическая серия*, № 3, 48–59. <https://doi.org/10.32523/2789-4320-2022-3-48-59>
12. Министерство энергетики Республики Казахстан. (2023). Основные направления развития энергетического сектора Республики Казахстан. <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo>
13. Президент Республики Казахстан. (2023). Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. <https://zan.gov.kz/>
14. Правительство Республики Казахстан. (2021). Национальный проект «Зеленый Казахстан» на 2021–2025 годы. https://prg.kz/document/?doc_id=33075347
15. Правительство Республики Казахстан. (2025). Концепция развития нефтеперерабатывающей отрасли Республики Казахстан на 2025–2040 годы (Постановление № 549 от 21 июля 2025 года). <https://zan.gov.kz/>
16. Республика Казахстан. (2009). Закон Республики Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии». <https://zan.gov.kz/client/#!/doc/198641/rus>
17. Республика Казахстан. (2017). Кодекс Республики Казахстан «О недрах и недропользовании». <https://zan.gov.kz/client/#!/doc/220254/rus>
18. Sharma, M., Joshi, S., Prasad, M., & Bartwal, S. (2023). Overcoming barriers to circular economy implementation in the oil and gas industry: Environmental and social implications. *Journal of Cleaner Production*, 391, 136133. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136133>
19. Yeo, Z., et al. (2023). Circular business models in energy-intensive industries. *Resources, Conservation & Recycling*, 188, 106719. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106719>

REFERENCES

1. Adedayo-Ojo, A. A., Shad, M. K., & Poon, W. C. (2025). Circular economy in the oil and gas industry: A data-driven bibliometric analysis. *Processes*, 13(11), 3604. <https://doi.org/10.3390/pr13113604>
2. AO NK «KazMunajGaz». (2025). Otchet ob ustojchivom razvitii. <https://www.kmg.kz/sustainable-development/>
3. Bjuro nacional'noj statistiki Respubliki Kazahstan. (2023). Statistika obrazovanija i pererabotki promyshlennyh othodov. <https://stat.gov.kz/en/green-economy-indicators/>
4. Bjuro nacional'noj statistiki Respubliki Kazahstan. (2024). Jekologicheskaja statistika Respubliki Kazahstan. <https://stat.gov.kz/ru/industries/environment/stat-eco/>
5. Energyprom.kz. (2024). Pererabotka i utilizacija promyshlennyh othodov v Kazahstane. <https://energyprom.kz/articles-ru/industries-ru/kazahstan-otkatilsya-nazad-v-voprosah-pererabotki-promyshlennyh-othodov/>
6. International Energy Agency. (2025). World energy outlook 2025. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/0a7a40a4-5dcb-4d6e-a7ad-76a1c90ec8eb/WorldEnergyOutlook2025.pdf>
7. Jagaba, A. H., et al. (2022). Circular economy potential and contributions of petroleum industry sludge utilization to environmental sustainability. *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100115. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100115>
8. KAZENERGY Association. (2024). Kazakhstan Energy Outlook 2024. https://s3-prod.exia.kz/articles/Kazakhstan_Energy_Outlook_2025_EN.pdf
9. Khlaifat, A., et al. (2025). Integrating circular economy principles in petroleum industry. *Processes*, 13(11), 3604. <https://doi.org/10.3390/pr13113604>
10. Lau, P. J., Ng, W. P. Q., How, B. S., Lim, C. H., & Lam, H. L. (2022). Paving a way toward circular economy for oil and gas industry: A conceptual modelling of re-refining process through solvent extraction and hydrofinishing pathway. *Journal of Cleaner Production*, 380, 134839. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134839>
11. Makhanov, S. S., Shalbolova, U. Z., & Yegemberdiyeva, S. M. (2022). The impact of investment activity in the oil refining sector on the economy of Kazakhstan. *Economic Series of the Bulletin of the L. N. Gumilyov Eurasian National University*, (3), 48–59. <https://doi.org/10.32523/2789-4320-2022-3-48-59>
12. Ministerstvo jenergetiki Respubliki Kazahstan. (2023). Osnovnye napravlenija razvitija jenergeticheskogo sektora Respubliki Kazahstan. <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo>
13. Prezident Respubliki Kazahstan. (2023). Strategija dostizhenija uglerodnoj nejtral'nosti Respubliki Kazahstan do 2060 goda. <https://zan.gov.kz/>
14. Pravitel'stvo Respubliki Kazahstan. (2021). Nacional'nyj proekt «Zelenyj Kazahstan» na 2021–2025 gody. https://prg.kz/document/?doc_id=33075347
15. Pravitel'stvo Respubliki Kazahstan. (2025). Koncepcija razvitija neftepererabatyvajushhej otrasli Respubliki Kazahstan na 2025–2040 gody (Postanovlenie № 549 ot 21 ijulja 2025 goda). <https://zan.gov.kz/>
16. Respublika Kazahstan. (2009). Zakon Respubliki Kazahstan «O podderzhke ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии». <https://zan.gov.kz/client/#!/doc/198641/rus>
17. Respublika Kazahstan. (2017). Kodeks Respubliki Kazahstan «O nedrah i nedropol'zovanii». <https://zan.gov.kz/client/#!/doc/220254/rus>
18. Sharma, M., Joshi, S., Prasad, M., & Bartwal, S. (2023). Overcoming barriers to circular economy implementation in the oil and gas industry: Environmental and social implications. *Journal of Cleaner Production*, 391, 136133. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136133>
19. Yeo, Z., et al. (2023). Circular business models in energy-intensive industries. *Resources, Conservation & Recycling*, 188, 106719. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106719>

МҰНАЙ ӨНІМДЕРІН ӨҢДЕУДІҢ ЦИРКУЛЯРЛЫ ЭКОНОМИКАҒА КӨШУ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІ

Сатенова Д.*

PhD докторанты,
Экономика және туризм жоғары мектебі,
Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ,
Астана қ., Қазақстан Республикасы
e-mail: lady.satenova@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0529-3039

Терелянский П.

э.ғ.д., профессор,
Г.В. Плеханов атындағы Ресей экономикалық
университеті,
Мәскеу қ., Ресей Федерациясы
e-mail: tereliansky@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0642-2901

Исаева Б.

PhD докторы, қауымдастырылған профессор,
Экономика және туризм жоғары мектебі,
Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ,
Астана қ., Қазақстан Республикасы
e-mail: b.isayeva_78@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8109-2896

Аңдатпа

Бұл мақалада Қазақстан Республикасының циркулярлы даму моделіне көшу жағдайында мұнай өнімдерін қайта өңдеудің экономикалық тиімділігін арттырудың өзекті мәселелері қарастырылған. Экологиялық қауіпсіздік талаптарының күшеюі, қайталама материалдық ағындарды басқарумен байланысты трансакциялық және операциялық шығындардың өсуі, сондай-ақ мұнай өңдеу саласының маржиналдық базасы дәстүрлі сызықтық шаруашылық моделін жаңғырту және циркулярлы экономика қағидаттарын енгізу қажеттілігін туындатады.

Зерттеудің мақсаты ресурстық тұйықталу және қайталама материалдық ағындар параметрлерін ескере отырып, мұнай өнімдерін қайта өңдеу тиімділігін бағалаудың экономикалық-математикалық құралын әзірлеу және апробациялау болып табылады. Зерттеудің әдіснамалық негізін жүйелік және салыстырмалы талдау, корреляциялық-регрессиялық модельдеу, серпімділік және ресурстық тиімділік коэффициенттерін анықтау әдістері құрайды.

Зерттеу нәтижелері мұнайды қайта өңдеу көлемдері мен мұнай қалдықтарының түзілуі арасындағы статистикалық маңызды кері тәуелділікті анықтайды (Пирсон корреляция коэффициенті $r = -0,930$; детерминация коэффициенті $R^2 = 0,866$). Алынған мәндер өте күшті кері сызықтық байланыстың бар екендігін көрсетеді, бұл ретте мұнай қалдықтарының түзілу көлемі өзгергіштігінің 86,6%-ы қайта өңдеу көлемдерінің өзгеруімен түсіндіріледі. Серпімділік коэффициентінің мәні ($E = -1,41$) жүйенің жоғары сезімталдығын растайды: қайта өңдеудің 1%-ға ұлғаюы қалдықтар түзілуінің 1,41%-ға төмендеуімен қатар жүреді, бұл 2022 жылдан бастап экологиялық реттеу мен қалдықтарды есепке алу тәжірибесінің өзгеруіне байланысты саладағы құрылымдық ығысудың бар екендігін көрсетеді. Тұрақты циркулярлы тепе-теңдікке қол жеткізу үшін қайталама материалдық ағындардың кемінде 42-45%-ын шаруашылық айналымға тарту қажет екендігі дәйектеледі.

Алынған нәтижелер Қазақстан Республикасының мұнай өңдеу саласының бәсекеге қабілеттілігін арттыру механизмдерін қалыптастыру және салалық ресурстық трансформация бағдарламаларын әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: циркулярлы экономика; мұнай өңдеу саласы; экономикалық тиімділік; ресурстық тиімділік; қайталама материалдық ағындар; корреляциялық-регрессиялық талдау; тұрақты даму.

**ECONOMIC EFFICIENCY OF PETROLEUM PRODUCT PROCESSING
UNDER THE TRANSITION TO A CIRCULAR ECONOMY****Satenova D.***

PhD Doctoral Student,
Higher School of Economics and Tourism,
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
e-mail: lady.satenova@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0529-3039

Terelyansky P.

Doctor of Economics, Professor,
Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russian Federation
e-mail: tereliansky@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0642-2901

Issayeva B.

PhD, Associate Professor,
Higher School of Economics and Tourism,
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
e-mail: b.isayeva_78@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8109-2896

Abstract

This article addresses the topical issues of increasing the economic efficiency of petroleum product processing during the transition to a circular development model in the Republic of Kazakhstan. The strengthening of environmental safety requirements, the growth of transaction and operating costs associated with the management of secondary material flows, as well as the marginal base of the oil refining industry, necessitate the modernization of the traditional linear economic model and the introduction of circular economy principles. The aim of this study is to develop and test an economic-mathematical toolkit for assessing the efficiency of petroleum product processing, taking into account the parameters of resource circularity and secondary material flows. The methodological basis of this research comprises methods of systemic and comparative analysis, correlation-regression modeling, and determination of elasticity and resource efficiency coefficients. The results of the study reveal a statistically significant inverse relationship between oil refining volumes and the generation of oil waste (Pearson correlation coefficient $r = -0.930$; coefficient of determination $R^2 = 0.866$). The obtained values indicate the presence of a very strong inverse linear relationship, in which 86.6% of the variability in the volume of oil waste generation is explained by changes in processing volumes. The value of the elasticity coefficient ($E = -1.41$) confirms the high sensitivity of the system: a 1% increase in processing is accompanied by a 1.41% decrease in waste generation, which indicates a structural shift in the industry associated with changes in environmental regulation and waste accounting practices since 2022. It is argued that achieving sustainable circular equilibrium requires the involvement of at least 42-45% of secondary material flows in economic circulation.

The obtained results can be used in the development of sectoral resource transformation programs and the formation of mechanisms to enhance the competitiveness of the oil refining industry of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: circular economy; oil refining industry; economic efficiency; resource efficiency; secondary material flows; correlation-regression analysis; sustainable development.