

Разработка системы КРІ для реформирования способа сбора и утилизации твердых бытовых отходов

Ш. Ш. Бекбасаров✉, Ф. З. Юлдашева

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,

г. Алматы, Республика Казахстан

✉ Sh.bekbasarov@aes.kz

Резюме. Рассматриваются теоретические и практические аспекты реформирования системы сбора и утилизации твердых бытовых отходов в современных условиях. Цель исследования состоит в обосновании направлений совершенствования системы обращения с ТБО на основе анализа научных публикаций, международного опыта и актуальных проблем управления отходами.

Ключевые слова: ТБО, раздельный сбор, утилизация, переработка, циркулярная экономика, вторичные ресурсы, полигон, экологическая политика

Для цитирования: Бекбасаров Ш.Ш., Юлдашева Ф.З. Разработка системы КРІ для реформирования способа сбора и утилизации твердых бытовых отходов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 44-48. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-44-48>.

Development of a KPI system for reforming municipal solid waste collection and disposal methods

Sh. Sh. Bekbassarov✉, F. Z. Yuldasheva

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications

named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ Sh.bekbasarov@aes.kz

Abstract. The article examines theoretical and practical aspects of reforming the municipal solid waste collection and utilization system under modern conditions. The purpose of the study is to substantiate the directions for improving the waste management system based on the analysis of scientific publications, international experience, and current management challenges.

Keywords: municipal solid waste, separate collection, waste utilization, recycling, circular economy, secondary resources, landfill, environmental policy

For citation: Bekbassarov Sh.Sh., Yuldasheva F.Z. Development of a KPI system for reforming municipal solid waste collection and disposal methods. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 44-48. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-44-48>.

Введение

Проблема обращения с твердыми бытовыми отходами в XXI веке приобрела не только санитарное и экологическое, но и выраженное экономическое значение. Рост численности городского населения, изменение моделей потребления, увеличение объема упаковочных материалов, пластика, смешанных и трудно разлагаемых фракций привели к тому, что традиционная система, основанная преимущественно на вывозе отходов на полигоны, перестала соответствовать требованиям устойчивого развития. Современные научные исследования показывают, что отхо-

ды должны рассматриваться не только как экологическая нагрузка, но и как потенциальный источник вторичных материальных ресурсов. Такой подход соответствует концепции циркулярной экономики, в рамках которой приоритет отдается предотвращению образования отходов, повторному использованию, переработке и минимизации захоронения. В научной литературе подчеркивается, что устойчивое управление отходами требует системного охвата всех стадий обращения: от образования и накопления до сортировки, переработки, утилизации и конечного размещения. Так, в работе А. Pires с соавторами показано, что система сбора отходов

должна рассматриваться как центральный элемент всей системы управления отходами, а ее устойчивость зависит от правильной интеграции логистических, инфраструктурных, социальных и экономических решений [1].

Авторы обосновывают, что именно этап сбора определяет дальнейшую эффективность сортировки и переработки, поскольку качество материала во многом зависит от способа его накопления и разделения на исходном этапе.

Серьезное значение для осмысления данной проблемы имеют и современные обзорные исследования. В частности, Z. Zhang с соавторами подчеркивает, что в развивающихся странах и регионах наибольшими препятствиями для устойчивого управления отходами являются: несбалансированная нормативная база, недостаток перерабатывающих мощностей, неэффективная транспортная логистика и слабая экологическая культура населения [2]. Авторы делают вывод о том, что без перехода к системному раздельному сбору и повышению доли ресурсного использования отходов даже значительные инвестиции в полигоны не решают проблему в долгосрочной перспективе.

Для Казахстана тема реформирования системы сбора и утилизации ТБО является особенно актуальной. Это связано с неравномерным развитием коммунальной инфраструктуры, существенными различиями между регионами, недостаточным охватом населения эффективными схемами раздельного сбора и пока еще ограниченным уровнем развития отрасли переработки. В исследовании A. Nukusheva с соавторами отмечается, что в Казахстане сохраняются серьезные регуляторные барьеры в сфере обращения с муниципальными отходами, в том числе недостаточная правовая согласованность между экологическими целями, механизмами контроля и практикой функционирования отрасли [3]. Авторы подчеркивают, что без институциональной реформы и четкого распределения ответственности между участниками системы повысить эффективность обращения с отходами невозможно.

Пожоую позицию занимают A. Sopykhanova и ее соавторы, связывающие экологическую политику Казахстана в сфере природопользования с задачами достижения целей устойчивого развития [4]. По их мнению, нормативное регулирование в области обращения с отходами должно быть направлено не только на устранение последствий загрязнения, но и на формирование устойчивой системы экономических и управленческих стимулов, побуждающих к экологически ответственному обращению с отходами.

Практическую значимость имеет исследование B. Abylkhani и соавторов, посвященное морфологическому составу твердых коммунальных отходов города Астаны. Авторы показали, что значительная часть отходов включает компоненты, пригодные для переработки и повторного использования, однако при смешанном накоплении и транспортировании их ресурсная ценность резко снижается [5]. Это позволяет сделать вывод о том, что реформа должна начинаться именно с этапа раздельного накопления у источника образования отходов. Таким образом актуальность темы определяется необходимостью перехода от инерционной модели «сбор – вывоз – захоронение» к модели, обеспечивающей ресурсосбережение, снижение экологической нагрузки и рост эффективности коммунального управления.

Цель исследования заключается в обосновании направлений реформирования системы сбора и утилизации твердых

бытовых отходов на основе анализа современных научных подходов и применимых управленческих решений.

Методы исследования

Методологическую основу исследования составил комплекс общенаучных и специальных методов, направленных на изучение системы обращения с твердыми бытовыми отходами как сложного многоуровневого объекта.

Во-первых, использован метод сравнительного анализа. Он позволил сопоставить различные научные подходы к реформированию систем обращения с отходами, выявить общие тенденции и определить универсальные факторы, влияющие на эффективность сбора и утилизации ТБО. Сравнились работы, посвященные устойчивому сбору отходов, моделям логистики, экономическим стимулам, поведенческим механизмам участия населения и нормативному регулированию отрасли. Такой подход дал возможность не ограничиваться локальным рассмотрением проблемы, а выявить более широкие закономерности, подтвержденные международной практикой.

Во-вторых, применялся структурно-функциональный анализ, с помощью которого система обращения с ТБО была рассмотрена как совокупность взаимосвязанных элементов: образование отходов, накопление, сбор, транспортирование, сортировка, переработка, утилизация и конечное размещение. Преимущество данного метода состоит в возможности определить, какие именно звенья системы создают основные ограничения для повышения ее результативности. На основе этого метода удалось установить, что низкая эффективность утилизации в значительной степени определяется проблемами, возникающими уже на этапе первичного накопления и организации сбора.

В-третьих, был использован системный анализ, позволяющий рассматривать сферу обращения с отходами не изолированно, а в связи с экологической политикой, экономикой коммунального хозяйства, поведением населения и развитием перерабатывающей инфраструктуры. Именно системный подход дает возможность объяснить, почему даже наличие отдельных перерабатывающих предприятий не приводит автоматически к росту уровня переработки, если отсутствуют стабильные потоки отсортированного сырья, тарифные стимулы и координация между участниками системы.

В-четвертых, использовался метод обобщения научной литературы и прикладных кейсов. Были рассмотрены исследования, посвященные экономическим инструментам обращения с отходами, формированию экологического поведения домохозяйств, транспортной оптимизации и организационным моделям перехода к циркулярной экономике.

Таким образом, совокупность примененных методов позволила сформировать целостное представление о проблеме и определить научно обоснованные направления реформирования системы сбора и утилизации ТБО.

Система KPI реформирования управления твердыми бытовыми отходами

Ключевые показатели эффективности (Key Performance Indicators, KPI) представляют собой количественные метрики, позволяющие оценить прогресс в достижении стратегических целей. В сфере управления отходами KPI-системы активно применяются на уровне ЕС: Директива 2018/851 установила обязательные целевые показатели по переработ-

ке ТБО для всех государств-членов [6]. Методология разработки КРП в сфере управления отходами основывается на принципах SMART (конкретность, измеримость, достижимость, релевантность, ограниченность во времени) и должна учитывать три уровня: стратегический (национальный), тактический (региональный) и операционный (муниципальный) [7].

Экологические КРП отражают достижение основных природоохранных целей реформы (см. таблицу). Ключевым индикатором служит доля ТБО, направляемых на захоронение (Landfill Diversion Rate). В соответствии с европейскими стандартами, к 2030 году она должна быть снижена до 50 % от базового уровня. Уровень раздельного сбора (Separate Collection Rate) – отношение массы раздельно собранных отходов к общему объему образования ТБО – является опережающим индикатором, характеризующим вовлеченность населения в систему. Согласно рекомендациям UNEP, данный показатель должен достигать 30 % в течение пяти лет после начала реформы [8].

Дополнительными экологическими КРП являются: уровень переработки (Recycling Rate), показатель сокращения выбросов парниковых газов от объектов обращения с отходами и качество рекуперированных материалов (доля загрязнений в собранных фракциях).

Операционные КРП характеризуют эффективность функционирования системы управления ТБО. К ним относятся: охват населения услугами по раздельному сбору (Coverage Rate), периодичность вывоза отходов (Collection Frequency Index), процент жалоб на несвоевременный вывоз и коэффициент исправности парка спецтехники [9].

Показатель цифровой оснащенности системы (Digital Infrastructure Index) отражает долю контейнеров с IoT-датчиками и RFID-метками, долю маршрутов, оптимизированных с помощью алгоритмов, а также охват цифровыми инструментами мониторинга отходов на полигонах. Экономические КРП позволяют оценить финансовую эффективность реформы. Ключевым показателем является удельная стоимость обращения с отходами (Cost per Tonne), которая должна снижаться по мере оптимизации маршрутов и загрузки мощностей. По данным McKinsey, внедрение цифровых технологий способно снизить удельные затраты на 20–35 % [10].

Таблица / Table

Система КРП реформирования управления твердыми бытовыми отходами / KPI System for Reforming Solid Waste Management

Показатель КРП	Базовое значение	Целевое значение	Срок достижения
Доля захоронения отходов	85 %	50 %	2030 г.
Уровень раздельного сбора	8 %	40 %	2030 г.
Доля переработки ТБО	5 %	30 %	2030 г.
Охват цифровым мониторингом	0 %	80 %	2027 г.
Экономия бюджетных средств	—	15 %	2028 г.
Число экологических инцидентов	Базовый год	-50 %	2030 г.

Дополнительными экономическими показателями являются: объем доходов от реализации вторичного сырья, экономия от оптимизации маршрутов мусоровозов, объем привлеченных частных инвестиций в переработку и ресурс-

собоерегающий эффект (стоимость замещенных первичных ресурсов). Социальные КРП включают индекс удовлетворенности населения качеством услуг по вывозу отходов, уровень экологической грамотности (долю населения, правильно осуществляющего сортировку), количество рабочих мест в отрасли переработки и показатель социальной вовлеченности в экологические инициативы [11].

Эффективный мониторинг достижения КРП требует создания интегрированной цифровой платформы, объединяющей данные от всех участников системы управления ТБО: операторов по сбору и вывозу, сортировочных и перерабатывающих предприятий, полигонов, органов государственного управления и населения.

Архитектура платформы должна включать три уровня:

- уровень сбора данных (IoT-датчики, RFID-считыватели, весовые терминалы),
- уровень обработки и хранения (облачная инфраструктура, озеро данных),
- уровень визуализации и принятия решений (BI-дашборды, модели прогнозирования).

Аналогичный подход реализован в сингапурской платформе NEA и южнокорейской AllThingsWaste [11]. Институциональный механизм мониторинга предполагает четкое разграничение полномочий: Министерство экологии осуществляет стратегический мониторинг на национальном уровне, акиматы областей – региональный контроль, местные исполнительные органы – оперативный мониторинг деятельности операторов.

Ключевым элементом является независимый аудит КРП – ежегодная верификация достигнутых показателей независимой организацией. Практика независимого аудита применяется в системах РОП Германии, Франции и Великобритании и обеспечивает достоверность отчетных данных [12].

Реализацию реформы целесообразно осуществлять в три этапа:

Первый этап (2025–2027 гг.): создание нормативно-правовой базы, пилотное внедрение раздельного сбора в крупных городах, разработка и ввод в эксплуатацию цифровой платформы мониторинга.

Второй этап (2027–2029 гг.): масштабирование раздельного сбора, строительство мощностей по переработке, внедрение системы РОП.

Третий этап (2029–2031 гг.): переход к циркулярной экономике, достижение целевых КРП.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ показал, что низкая эффективность действующей системы обращения с твердыми бытовыми отходами во многом обусловлена ее линейным характером, ориентированным преимущественно на сбор, вывоз и захоронение отходов. Такой подход усиливает полигонную нагрузку и ограничивает вовлечение вторичных ресурсов в хозяйственный оборот.

Установлено, что базовым условием реформирования системы является внедрение раздельного сбора отходов у источника их образования. Смешанное накопление приводит к загрязнению полезных фракций и увеличению затрат на сортировку, тогда как предварительное разделение повышает качество вторичного сырья и экономическую эффективность его переработки [13]. Результаты анализа морфологического состава отходов г. Астаны подтверждают наличие значитель-

ной доли компонентов, пригодных для повторного использования и переработки.

Важным направлением реформирования является модернизация логистики сбора и транспортирования ТБО. Раздельное накопление не обеспечивает необходимого эффекта без соответствующего разделения транспортных потоков. Оптимизация маршрутов, зонирование территорий, развитие сортировочных узлов и цифровой мониторинг позволяют сократить транспортные затраты и повысить объем извлечения полезных фракций [14].

Результаты исследования также показали необходимость совершенствования экономических и институциональных механизмов управления отходами. Тарифные инструменты, учитывающие объем смешанных отходов и качество сортировки, способны стимулировать участие населения и организаций в раздельном сборе. Одновременно требуется четкое разграничение полномочий между государственными органами, операторами, перевозчиками и перерабатывающими предприятиями. Особое значение имеют поведенческие факторы. Участие населения в раздельном сборе зависит от доверия к системе и прозрачности дальнейшего движения отходов. Поэтому экологическое просвещение, информирование населения, общественный контроль и обратная связь должны быть интегрированы в систему управления ТБО.

На основе проведенного анализа обоснован поэтапный переход к новой модели обращения с ТБО, включающей в себя:

- учет объемов и морфологического состава отходов;
- внедрение раздельного накопления;
- модернизацию транспортно-логистической и сортировочной инфраструктуры;
- развитие перерабатывающих мощностей и рынка вторичных ресурсов.

Цифровизация должна обеспечивать сквозной контроль данной цепочки посредством GPS-мониторинга транспорта, датчиков наполненности контейнеров и автоматизированного учета потоков отходов [15].

Таким образом, реформирование системы обращения с

ТБО должно быть направлено на снижение полигонной нагрузки и переход от модели удаления отходов к управлению материальными ресурсами в соответствии с принципами циркулярной экономики. Предлагаемая модель объединяет раздельный сбор, модернизацию инфраструктуры, цифровой мониторинг, экономическое стимулирование, институциональную координацию и повышение экологической культуры населения.

Выводы

1. Установлено, что действующая линейная система сбора и утилизации твердых бытовых отходов не отвечает современным экологическим и управленческим требованиям. Обоснована необходимость перехода к ресурсно-ориентированной модели, направленной на сокращение захоронения и увеличение переработки отходов.

2. Определено, что ключевыми направлениями реформирования являются внедрение раздельного сбора отходов у источника образования, модернизация транспортно-логистической системы, развитие сортировочной инфраструктуры и цифрового мониторинга потоков ТБО.

3. Разработана система КРІ, включающая экологические, операционные, экономические и социальные показатели. В качестве целевых ориентиров для Казахстана к 2030 году предложено снижение доли захоронения отходов до 50 %, увеличение уровня раздельного сбора до 40 % и доли переработки до 30 %.

4. Предложена трехуровневая архитектура цифровой платформы мониторинга и институциональный механизм разграничения полномочий между национальными, региональными и местными органами управления, обеспечивающие контроль достижения КРІ и корректировку управленческих решений.

5. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанной системы КРІ и механизмов мониторинга при формировании региональных и муниципальных программ обращения с ТБО и совершенствовании экологической политики Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Pires A., Martinho G., Rodrigues S., et al. Sustainable Solid Waste Collection and Management. *Cham: Springer*, 2019: 332.
2. Zhang Z., Han Z., He P., et al. Municipal solid waste management challenges in developing regions: A comprehensive review and future perspectives for Asia and Africa. *Science of the Total Environment*. 2024; 930: 172188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172794>.
3. Nukusheva A., Bekezhanov D., Kunbolatova M., et al. Regulatory Obstacles in Municipal Solid Waste Management in Kazakhstan in Comparison with the EU. *Sustainability*. 2023; 15 (2): 1034. <https://doi.org/10.3390/su15021034>.
4. Sopykhanova A., Kaldybayev A., Tazhmagambetov A., et al. Problems of Legal Regulation and State Policy Measures Related to Nature Management in the Framework of Achieving the SDGs: Examples from Russia and Kazakhstan. *Sustainability*. 2023; 15 (2): 1042. <https://doi.org/10.3390/su15021042>.
5. Abylkhan B., Guney M., Aiyembetov B., et al. Detailed municipal solid waste composition analysis for Nur-Sultan City, Kazakhstan with implications for sustainable waste management in Central Asia. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021; 28. (9): 24406–24418. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08431-x>.
6. Directive 2018/851/EU amending Directive 2008/98/EC on waste. *Official Journal of the European Union*, L 150, 14.6.2018.
7. Parmenter D. Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs. 4th ed. *Hoboken: Wiley*. 2019: 312.
8. UNEP. Solid Waste Management: A Local Challenge with Global Impacts. *Nairobi: United Nations Environment Programme*, 2021.
9. Friege H. The German Packaging Ordinance and the Green Dot System. *Resources, Conservation and Recycling*. 2012; 57: 64–71.
10. Management: Digital Technologies and their Impact on Costs. *New York: McKinsey Center for Government*, 2020.
11. National Environment Agency Singapore. *Zero Waste Masterplan*. *Singapore: NEA*, 2019: 128.
12. Duales System Deutschland. Annual Report 2022. *Cologne: DSD*, 2022.
13. Filimonova N., Birchall S. J. Sustainable municipal solid waste management: A comparative analysis of enablers and barriers to advance governance in the Arctic. *Journal of Environmental Management*. 2024; 371: 123111. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123111>.
14. Iqbal A., Yasar A., Nizami A.-S., et al. Municipal Solid Waste Collection and Haulage Modeling Design for Lahore, Pakistan: Transition toward Sustainability and Circular Economy. *Sustainability*. 2022; 14 (23): 16234. <https://doi.org/10.3390/su142316234>.

15. Hirpe L., Yeom C. Municipal Solid Waste Management Policies, Practices, and Challenges in Ethiopia: A Systematic Review. *Sustainability*. 2021; 13 (20): 11241. <https://doi.org/10.3390/su132011241>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шакир Шарипович Бекбасаров –

д-р техн. наук, ассоциированный профессор, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0002-8892-2506>; e-mail: Sh.bekbasarov@aes.kz

Феруза Зухридиновна Юлдашева –

магистрант, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0009-0008-0472-5937>; e-mail: f.yuldasheva@aes.kz

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.07.2026

Поступила после рецензирования: 31.07.2026

Принята к публикации: 12.08.2026

ABOUT THE AUTHORS

Shakir Sh. Bekbasarov –

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-8892-2506>; e-mail: Sh.bekbasarov@aes.kz

Feruza Z. Yuldasheva –

Master's student, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0009-0008-0472-5937>; e-mail: f.yuldasheva@aes.kz

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 19.07.2026

Revised: 31.07.2026

Accepted: 12.08.2026