

ГЕОЭКОЛОГИЯ/GEOECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.107>МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОБЪЕКТОВ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Спирин М.И.^{1,*}, Харламова М.Д.², Аверьянова Е.И.³^{1,2,3} Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (mnyzdel[at]gmail.com)

Аннотация

В статье анализируются недостатки действующей методики оценки эффективности объектов обращения с твердыми коммунальными отходами (Постановление Правительства РФ № 424), которая для комплексов по переработке отходов (КПО) ограничивается единственным показателем «...доля твердых коммунальных отходов (ТКО), направляемых на утилизацию, в массе твердых коммунальных отходов (ТКО), принятых на обработку». Доказывается, что этого недостаточно для комплексной технико-экономической оценки современных предприятий. Предлагается расширенная система показателей для КПО, включающая относительные критерии («Доля отбора от пригодного», «Доля отбора от загруженного», показатели «Полноты загрузки») и абсолютные показатели (масса и стоимость извлеченных вторичных материальных ресурсов). Отдельно рассматривается проблема оценки мусороперегрузочных станций (МПС), для которых разработаны критерии, основанные на анализе «Баланса масс» и оборачиваемости отходов, что позволяет контролировать экологические риски. Предложенный подход формирует основу для перехода от формального учёта к комплексному управлению технико-экономической эффективностью всей цепочки обращения с отходами, что необходимо для реализации принципов экономики замкнутого цикла.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, комплекс по сортировке и обработке отходов, вторичный материальный ресурс, эффективность работы, морфология отходов, мусороперегрузочная станция, методика оценки эффективности.

METHODOLOGY FOR EVALUATING THE TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF THE
EFFICIENCY OF WASTE MANAGEMENT FACILITIES IN MOSCOW OBLAST

Research article

Spirin M.I.^{1,*}, Kharlamova M.D.², Averyanova Y.I.³^{1,2,3} Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (mnyzdel[at]gmail.com)

Abstract

The article analyses the drawbacks of the current methodology for assessing the efficiency of solid municipal waste management facilities (Decree of the Government of the Russian Federation № 424), which for waste processing complexes (WPCs) is limited to a single indicator: "...the share of solid municipal waste (SMW) sent for disposal in the mass of solid municipal waste (SMW) accepted for processing". It is argued that this is insufficient for a complex technical and economic evaluation of modern enterprises. An expanded system of indicators for WPCs is suggested, including relative criteria ("Share of selection from suitable", "Share of selection from loaded", "Completeness of loading" indicators) and absolute indicators (weight and cost of extracted secondary material resources). The problem of assessing waste transfer stations (WTS) is discussed separately, for which criteria have been developed based on the analysis of the "mass balance" and waste turnover, which allows for the control of environmental risks. The suggested approach forms the basis for moving from formal accounting to complex management of the technical and economic efficiency of the entire waste management chain, which is necessary for implementing the principles of a closed-loop economy.

Keywords: solid municipal waste, waste sorting and processing complex, secondary material resources, operational efficiency, waste morphology, waste transfer station, efficiency assessment methodology.

Введение

Рост численности населения и объема потребления приводит к постоянному увеличению образования твердых коммунальных отходов (ТКО), что создает значительную нагрузку на экосистемы и требует трансформации систем обращения с отходами [1], [2]. Ключевым вектором такой трансформации признается экономика замкнутого цикла (ЭЗЦ), нацеленная на максимальное вовлечение отходов во вторичный оборот и минимизацию захоронения [3], [4].

В Российской Федерации институциональным ответом на этот вызов стала «мусорная реформа», инициированная в 2019 году, в рамках которой была обновлена законодательная база (включая изменения в Федеральный закон № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления») и начато создание новой инфраструктуры промышленности по обращению с ТКО в рамках реализации Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года [7], основанной на создании и эксплуатации современных объектах обработки и утилизации [5].

В Московской области, как наиболее густонаселенном регионе, стержнем новой инфраструктуры стали высокотехнологичные комплексы по переработке отходов (КПО), выполняющие функции не только глубокой

сортировки, но и компостирования органической фракции, а также временного хранения «хвостов» сортировки. Их работу поддерживает сеть мусороперегрузочных станций (МПС), оптимизирующих транспортные потоки. Однако эффективность функционирования таких сложных производственных объектов в значительной степени определяется корректностью нормативно-методического обеспечения.

В настоящее время действующая официальная методика оценки эффективности объектов обращения с ТКО (Постановление Правительства РФ № 424 от 16.05.2016) демонстрирует существенный дисбаланс. Для объектов обработки ТКО используется всего один относительный показатель – «...доля твердых коммунальных отходов (ТКО), направляемых на утилизацию, в массе твердых коммунальных отходов (ТКО), принятых на обработку». Данный показатель может рассматриваться, как критерий технико-экономической эффективности производства и далее в тексте обозначен автором как ДОД (доля отбора от доставленного, %) [6], [9].

Ключевой проблемой, определяющая научную новизну и практическую значимость, заключается в том, что современная инфраструктура, призванная обеспечить переход к ЭЗЦ, управляется и оценивается по нормативам, не отражающим ее производственной сложности и конечной эколого-экономической цели. Это приводит к рискам принятия неэффективных управленческих решений, недооценке экологических аспектов функционирования КПО и, как следствие, к снижению общей эффективности системы обращения с отходами [10].

Целью данной статьи является разработка и обоснование системы дополнительных критериев и методических подходов для комплексной технико-экономической оценки эффективности эксплуатации комплексов по переработке отходов (КПО) и мусороперегрузочных станций.

В качестве объектов исследования рассматривались объекты накопления, перегрузки, обработки и утилизации твердых коммунальных отходов, размещенные на территории Московской области, а именно: один (из одиннадцати функционирующих) комплексов по переработке отходов (КПО «А»); одна (из двадцати семи мусороперегрузочных станций (МПС «Х»)).

Методы и принципы исследования

Методологическую основу исследования составил комплекс научных методов, интегрированных в рамках системного подхода. Исходным этапом работы явился критический анализ нормативно-методической базы, в частности Постановления Правительства РФ № 424. Данный анализ позволил выявить содержательные и структурные ограничения действующих оценочных процедур применительно к современным объектам обработки отходов.

Основным инструментом разработки альтернативной системы критериев выступило математическое моделирование, примененное для конструирования новых расчетных показателей. С его помощью были формализованы относительные показатели эффективности КПО (ДОП, ДОЗ, ДЗПМ) и количественные критерии для оценки работы МПС (баланс масс, анализ оборачиваемости). Верификация предложенной методики выполнена методом анализа конкретных ситуаций на основе ретроспективных операционных данных объектов Московской области. Обработка данных включала их систематизацию и сравнительный анализ с использованием табличных и графических форм представления.

Исследование базировалось на следующих методологических принципах.

1. Принцип системности, требующий рассмотрения КПО и МПС как взаимозависимых элементов единой технологической цепи.
2. Принцип комплексности, предполагающий одновременный учет технологических, экономических и экологических параметров эффективности.
3. Принцип практической применимости, согласно которому разрабатываемые показатели должны быть адаптированы для интеграции в действующие системы контроля.

Результаты и обсуждения

Доля отбора, %. Данный показатель является одним из ключевых комплексных показателей оценки технико-экономической эффективности отбора фракций (сортировки) и экологической безопасности производства, так как он отражает ту долю отходов, которая была отобрана и использована в качестве вторичных материальных ресурсов (ВМР), то есть эти отходы были вовлечены в замкнутый технологический цикл. Для интегральной количественной оценки «Доли отбора», предлагается использовать три относительных показателя отбора:

- «Доля отбора от доставленного (ДОД), %» — показатель используется в действующей методике.
- «Доля отбора от пригодного (ДОП), %» — показатель отражает ту долю ВМР, которую удалось извлечь на КПО из отходов, пригодных к сортировке, то есть из отходов ТКО и РСО (раздельный сбор отходов), за вычетом крупногабаритных отходов (КГО).
- «Доля отбора от загруженного (ДОЗ), %» — показатель отражает долю ВМР, которую удалось отсортировать на КПО из потока отхода, загруженного на линию сортировки.

Следует отметить, что массы доставленных, пригодных к сортировке и загруженных на линию сортировки ТКО — неэквивалентны. Объемы доставляемых на КПО отходов и состав утильных фракций зависят от многих факторов, в том числе — от сезона, поэтому предлагается определять показатели для конкретного месяца. Автором предлагается следующая методика расчета дополнительных показателей ДОП и ДОЗ:

$$\text{ДОП}_i = \frac{M_{\text{отб.}i}}{M_{\text{дост.}i(\text{ТКО}+\text{РСО})}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{дост.}i(\text{ТКО}+\text{РСО})}$ — масса доставленных на КПО пригодных для сортировки отходов, выраженный в тоннах; $M_{\text{отб.}i}$ — масса отобранных (отсортированных) отходов, в тоннах; i — рассматриваемый месяц

На территории Московской области существует проблема, неравномерности в соотношении пригодных и непригодных для сортировки отходов (табл. 1) ввиду чего может складываться ситуация, когда объем доставленных, но не пригодных к сортировке отходов (например, крупно габаритных отходов КГО), будет близок или равен объему пригодных отходов (ТКО+PCO), что при расчетах, а также при сортировке, будет снижать показатель ДОД.

$$ДОЗ_i = \frac{M_{отб.i}}{M_{загр.i}}, \quad (2)$$

где $M_{загр.}$ — масса загруженных на линию сортировки отходов в тоннах; $M_{отб.}$ — масса отобранных (отсортированных) отходов в тоннах; i — рассматриваемый месяц

Данный показатель, максимально точно способен отражать эффективность работы непосредственно линии сортировки отходов в составе КПО, что позволяет более точно оценивать технико-экономическую эффективность КПО. Как и в случае с показателем ДОД (доля отбора от доставленного), показатель ДОЗ (доля отбора от загрузки) может рассчитываться по отношению к полной сумме отходов (ТКО+PCO+КГО), включая непригодные к сортировке крупногабаритные отходы.

Говоря об эффективности работы КПО, следует учитывать не только относительные, но и абсолютные показатели, такие как «Масса загрузки» (в тоннах), «Масса отбора ВМР» (в тоннах).

Использование абсолютных показателей позволяет производить расчет относительных показателей как по показателям отбора (сортировки), так и по показателям загрузки (на линию сортировки). Пример сравнения абсолютных и относительных технико-экономических показателей эффективности работы КПО представлен в таблице 1, 2 и на рисунке 1.

Таблица 1 - Сравнение абсолютных и относительных технико-экономических показателей эффективности (на примере КПО «А»)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.107.1>

КПО «А»	явн.	фев.	мар.	апр.	май.	июн.	июл.	авг.	сен.	окт.	ноя.	дек.
Данные по входным потокам ТКО												
Доставлено отходов, т	36 355	28 236	39 190	45 926	55 947	56 001	71 720	79 911	70 890	72 227	52 287	36 276
Доставлено ТКО+PCO, т	32 459	26 694	34 519	31 762	38 338	31 983	38 525	46 439	38 535	46 037	37 238	29 465
Доставлено КГО, т	3 896	1 542	4 671	14 165	17 609	24 018	33 195	33 472	32 355	26 191	15 050	6 811
Абсолютные показатели												
Масса загрузки, т	28 376	26 076	33 570	30 675	35 502	30 518	33 443	32 968	40 346	46 131	42 686	32 110
Масса отбора ВМР, т	2 853	2 457	3 049	2 646	2 912	2 569	2 435	2 106	1 972	2 605	2 429	2 402
Стоимость отбора, млн. руб	35,00	32,76	42,13	39,76	43,50	38,49	36,30	34,12	37,82	48,39	34,47	38,09
Относительные показатели												
ДОЗ, доля отбора от загруженного на линию, %	10,05	9,42	9,08	8,63	8,20	8,42	7,28	6,39	4,89	5,65	5,69	7,48
ДОД, доля отбора от доставленного на КПО, %	7,85	8,70	7,78	5,76	5,21	4,59	3,40	2,64	2,78	3,61	4,65	6,62
ДОП, доля отбора от пригодного (ТКО+PCO), %	8,79	9,21	8,83	8,33	7,60	8,03	6,32	4,53	5,12	5,66	6,52	8,15

Таблица 2 - Результаты использования технико-экономических показателей (на примере КПО «А»)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.107.2>

Показатели	Итого
Доставлено отходов, т	644 967
Доставлено ТКО+PCO, т	431 993
Доставлено КГО, т	212 974
Масса загрузки, т	412 401
Масса отбора, т	30 435
Стоимость отбора, млн. руб.	461
ДОЗ (доля отбора от загруженного на линию), %	7,38
ДОД (доля отбора от доставленного на КПО, %)	4,72
ДОП (доля отбора от пригодного (ТКО+PCO), %)	7,05

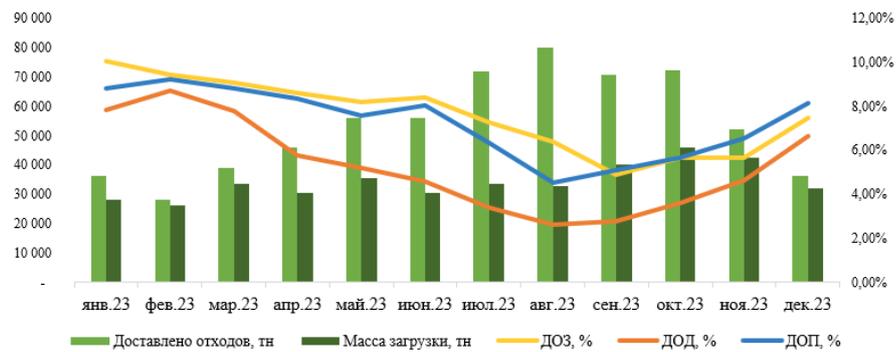


Рисунок 1 - Сравнение абсолютных и относительных технико-экономических показателей эффективности
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.107.3>

Из представленной диаграммы видно, что в разные месяцы наблюдаются разные закономерности. Так, разница между показателями ДОД и ДОЗ в июне максимальна, что свидетельствует об увеличении соотношения между пригодными и непригодными для сортировки отходами, что в абсолютных значениях мы наблюдаем в таблице 1. Также можно отметить превышение показателей ДОП и ДОД (которые практически совпадают) над ДОЗ с сентября по октябрь.

Данные факты свидетельствуют о том, что на долю отбора может влиять большое количество факторов, поэтому предлагается дополнить методику двумя дополнительными относительными и тремя абсолютными технико-экономическими показателями, характеризующими эффективность процесса отбора фракций, то есть сортировки.

Полнота загрузки, %. При расчете комплексного показателя «Полноты загрузки» предлагается использовать три дополнительных относительных показателя:

- ДЗД — «Доля загрузки от доставленного, %» — данный показатель отражает ту долю отходов, которая была загружена на линию сортировки, от всей массы доставленных отходов (пригодных и непригодных). Методика расчета, следующая:

$$ДЗД_i = \frac{M_{загр.i}}{M_{дост.i}}, \quad (3)$$

где $M_{дост.}$ — масса доставленных на КПО отходов (пригодных и непригодных), выраженная в тоннах; $M_{загр.}$ — масса загруженных на сортировку отходов в тоннах; i — рассматриваемый месяц.

Данный показатель позволяет получать общую картину по объемам доставленных отходов на КПО для дальнейшей обработки (сортировки). Однако полную картину, по работе КПО, он может дать только при совместной оценке показателей «ДЗП — доля загрузки от пригодного» и «ДЗПМ — доля загрузки от проектной мощности»

- ДЗП — «Доля загрузки от пригодного, %» — данный показатель отражает ту долю отходов, которая была загружена на линию сортировки, от количества пригодных для сортировки отходов. Методика расчета, следующая:

$$ДЗП_i = \frac{M_{загр.i}}{M_{пригод.i}}, \quad (4)$$

где $M_{пригод.}$ — масса доставленных на КПО отходов пригодных (ТКО+РСО) к сортировке, выраженная в тоннах; $M_{загр.}$ — масса загруженных на сортировку отходов в тоннах; i — рассматриваемый месяц.

Данный показатель способен отражать дефицит или профицит отходов пригодных для сортировки. В случае, если данный показатель превышает 100%, то это говорит о присутствии на линии сортировки, отходов «непригодных» к сортировке «КГО» (рис. 2), в свою очередь, это может свидетельствовать о том, что в рамках реализации территориальной схемы не было предоставлено достаточное количество пригодных для сортировки отходов (ТКО+РСО), либо о неверно введенных талонах отходов в автоматизированных информационных системах.

- ДЗПМ — «Доля загрузки от проектной мощности, %» — данный показатель отражает ту долю отходов, которая была загружена на линию сортировки от проектной мощности комплекса по переработке отходов (КПО):

$$ДЗПМ_{мес.} = \frac{M_{проект.год}}{12}, \quad (5)$$

$$ДЗПМ_i = \frac{M_{загр.i}}{M_{проект.мес.}}, \quad (6)$$

где $M_{проект.год}$ — проектная мощность КПО по обработке отходов выраженная в тоннах в год; $V_{загр.}$ — масса загруженных на сортировку отходов в тоннах; i — рассматриваемый месяц.

Расчет данного показателя, способен отражать не только эффективность работы КПО, но и отражать корректность распределения логистических потоков в рамках территориальной схемы либо о корректности подбора проектных мощностей предприятия, в случае если все 3 рассмотренных выше показателя «% загрузки от доставленного/пригодного/проектной мощности» ниже 100% на протяжении более чем 1 месяца.

Пример рассмотрения данных показателей, представлен на рисунке 2.

Таблица 3 - Сводные данные по объемам и видам отходов и показатели эффективности на КПО «А» в 2023 году

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.107.4>

Доставлено отходов	Масса всего, т/год
Доставлено отходов	644 967
Доставлено ТКО+РСО	431 993
Доставлено КГО	212 974
Масса загрузки	412 401
Проектная мощность	900 000
Показатели эффективности, %	
ДЗД (доля загрузки от доставленного)	64
ДЗП (Доля загрузки от пригодного)	95
ДЗПМ (Доля загрузки от проектной мощности)	46
Доля ТКО+РСО в потоке	67
Доля КГО в потоке	33

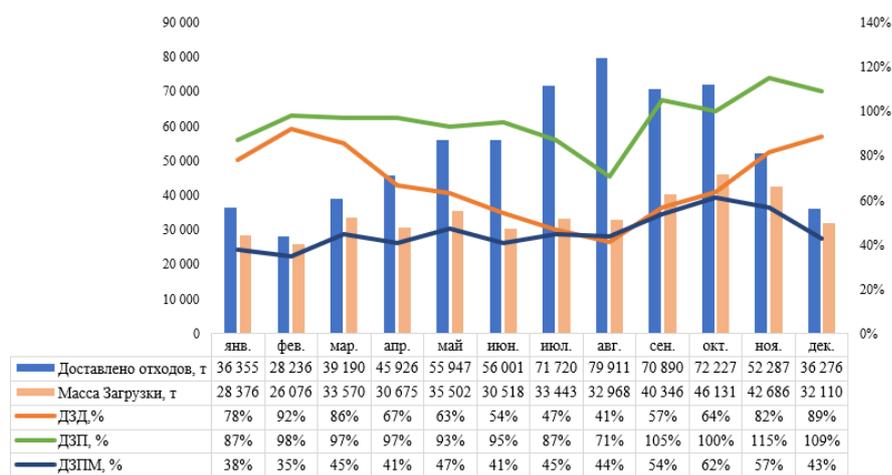


Рисунок 2 - Сопоставление показателей загрузки на КПО «А» за 2023 год

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.107.5>

Расчет показателей эффективности работы мусороперегрузочных станций (МПС). Как отмечалось ранее авторами в работе [7], мусороперегрузочные станции (МПС), являются одним из ключевых звеньев, в реализации цепочки накопления, перегрузки и транспортирования отходов. Нарушение нормативов накопления и хранения отходов на МПС может приводить к дополнительному образованию загрязняющие вещества и их эмиссии в атмосферный воздух.

Однако в существующей методике, отсутствует определение показателей эффективности данного вида объектов обращения с отходами, на основании чего, автором предлагается использовать разработанные в Правилах для оценивания эффективности (Постановлении Правительства РФ от 16.05.2016 № 424 (ред. от 14.11.2022)) следующий показатель «Доля проб подземных вод, почвы и воздуха, отобранных по результатам производственного экологического контроля, не соответствующих установленным требованиям, в общем объеме таких проб» рассчитывающийся по формуле:

$$Д_{ЭК_t} = \frac{К_{ЭК_t}}{К_{ЭК}} \times 100\%, \quad (7)$$

где $К_{ЭК_t}$ — количество проб подземных вод, почвы и воздуха, отобранных по результатам производственного экологического контроля, не соответствующих установленным требованиям, в году t ; $К_{ЭК}$ — общее количество проб подземных вод, почвы и воздуха, отобранных по результатам производственного экологического контроля в году t .

А также дополнить указанную методику показателями сроков хранения (оборачиваемости) отходов, на территории мусороперегрузочных станций (МПС). Расчет предлагается осуществлять по следующим показателям:

- «Баланс масс» — данный показатель отражает дефицит или профицит ввозимого объема на МПС над вывозимым. Предлагается следующая формула расчета данного показателя:

$$BM_i = M_{\text{ВВОЗ},i} - M_{\text{ВЫВОЗ},i}, \quad (8)$$

где: $M_{\text{ВВОЗ}}$ — масса ввозимых на МПС отходов в тоннах; $M_{\text{ВЫВОЗ}}$ — масса отходов, вывезенных с МПС, выраженная в тоннах; i — рассматриваемый месяц.

Данный показатель, способен отражать эффективность вывоза отходов с МПС, показывая положительный или отрицательный баланс масс. В случае если баланс масс — положительный, то это свидетельствует о том, что отходы не накапливались длительное время (более 1 суток) на территории МПС и наоборот.

Однако важно отметить, что даже в случае, если месячный баланс масс — положительный, то это не говорит о том, что на протяжении отдельного взятого месяца, не было зафиксировано накопление отходов сроком более чем 1-и сутки. Для этого предлагается ввести следующую методику расчета:

Шаг 1: Расчет посуточного баланса масс в соответствии с со следующей формулой:

$$BM_j = M_{\text{ВВОЗ},j} - M_{\text{ВЫВОЗ},j}, \quad (9)$$

где $M_{\text{ВВОЗ}}$ — ввезённая масса отходов на МПС выраженный в тоннах; $M_{\text{ВЫВОЗ}}$ — вывезенная масса отходов с МПС выраженный в тоннах; j — рассматриваемые сутки в месяце.

Шаг 2: Составление матрицы месячного баланса масс, с разбивкой на сутки месяца (табл. 4).

Таблица 4 - Пример составления матрицы баланса масс (на примере МПС «Х»)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.107.6>

Дата	МПС «Х»		БМ _j
	Ввоз, т	Вывоз, т	
1 июл.	1 485	1 451	34
2 июл.	1 415	1 341	74
3 июл.	1 509	1 447	62
4 июл.	1 557	1 352	205
5 июл.	1 259	1 530	- 270
6 июл.	1 352	1 434	-82
7 июл.	1 377	1 386	- 9
8 июл.	1 486	1 523	-37
9 июл.	1 257	1 293	-36
10 июл.	1 608	1 555	53
11 июл.	1 406	1 216	190
12 июл.	1 526	1 435	91
13 июл.	1 388	1 420	-31
14 июл.	1 548	1 472	76
15 июл.	1 270	1 264	6
16 июл.	1 516	1 476	39
17 июл.	1 728	1 425	304
18 июл.	1 760	1 424	336
19 июл.	1 600	1 204	396
20 июл.	1 711	1 345	365
21 июл.	1 835	1 538	297
22 июл.	1 826	1 481	345
23 июл.	1 760	1 263	497
24 июл.	1 801	1 509	292
25 июл.	1 808	1 549	259
26 июл.	1 721	1 537	184
27 июл.	1 713	1 430	283
28 июл.	1 716	1 604	113
29 июл.	1 673	1 513	161
30 июл.	1 247	1 231	17
31 июл.	989	727	262
Итого	47 846	43 372	4 473

Шаг 3: Подсчет следующих показателей:

• «Среднесуточный баланс масс» — расчет данного показателя, отражает, общую тенденцию преобладания ввозимым объемом отходов, над вывозимым. Соответственно, чем выше этот показатель относительно «0», тем больше риск запуска процессов биодegradации до попадания отходов в места обработки и утилизации. Расчет производится по следующей формуле:

$$BM_{c.c.} = \frac{BM_{1i} + BM_{2i} + BM_{3i} + \dots + BM_{ni}}{n}, \quad (1)$$

где n — количество суток в месяце; i — рассматриваемый месяц.



• Посчитать количество суток, когда было зафиксировано превышение ввозимого объема отходов над вывозимым а также количество суток, когда были зафиксированы превышения несколько суток подряд.

• Отразить разницу баланса масс — данный показатель отражает хаотичность ввоза и вывоза отходов с МПС. Соответственно, чем выше разница масс, тем выше хаотичность.

Как и описывалось ранее в работе, описанные выше показатели по МПС «Х» следующие: «разница масс от 6-ти до 396 т/день, в среднем — 144 т/день. Общее превышение зафиксировано 25 раз, а непрерывное превышение составило максимум 18 суток (с 14 по 31 июля — 432 часа)».

Все описанные выше показатели, по отдельности способны отражать эффективность работы МПС, однако полностью эффективность МПС можно лишь при рассмотрении совокупности факторов.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило ключевую гипотезу о том, что действующая нормативно-методическая база оценки эффективности объектов обращения с ТКО (в т.ч. Постановление Правительства РФ № 424), является недостаточно информативной для комплексной технико-экономической оценки современных комплексов по переработке отходов (КПО) и мусороперегрузочных станций (МПС). Ориентация исключительно на показатель «...доля твердых коммунальных отходов (ТКО), направляемых на утилизацию, в массе твердых коммунальных отходов (ТКО), принятых на обработку» (ДОД) для КПО не отражает технологической сложности их работы.

В рамках данной работы для преодоления указанных ограничений была разработана и апробирована на примере объектов Московской области расширенная система критериев, позволяющая проводить всесторонний анализ. Основные результаты и выводы исследования заключаются в следующем:

1. Для оценки технико-экономической эффективности КПО предложен и обоснован пакет взаимодополняющих показателей (индикаторов), которые устраняют искажения, вызванные наличием крупногабаритных и непригодных к сортировке отходов:

• Доля отбора от пригодного (ДОП, %) способна отражать эффективность извлечения вторичных материальных ресурсов именно из того потока отходов, который технологически предназначен для сортировки.

• Доля отбора от загруженного (ДОЗ, %) способна характеризовать эффективность работы непосредственно линии сортировки, нивелируя влияние логистических и подготовительных этапов.

Совместный анализ ДОД, ДОП и ДОЗ, а также абсолютных показателей (масса загрузки, масса отбора ВМР) позволяет выявить ошибки в процессе сортировки и сравнивать эффективность разных КПО.

2. Для анализа логистической и производственной загрузки КПО введена группа индикаторов «Полноты загрузки»:

• Доля загрузки от доставленного (ДЗД, %) и Доля загрузки от пригодного (ДЗП, %) помогают выявлять отклонения в поставках сырья (дефицит или профицит пригодных отходов, ошибочный учёт).

• Доля загрузки от проектной мощности (ДЗПМ, %) является ключевым индикатором корректности планирования территориальной схемы обращения с отходами и обоснованности инвестиций в создание объектов. Систематическая недогрузка КПО указывает на стратегические просчеты в распределении потоков или некорректно подобранных мощностей объектов по обработке отходов.

3. Для оценки экологической безопасности и операционной эффективности МПС, не рассматриваемой действующей методикой (ПП РФ 424), разработана система критериев, фокусирующаяся на контроле сроков временного хранения отходов:

• Показатель «Баланс масс» (месячный и среднесуточный) и анализ посуточных матриц накопления позволяют объективно оценить соблюдение нормативного срока хранения отходов (не более 1 суток).

• Количественная оценка периодов непрерывного превышения ввоза над вывозом и хаотичности суточных колебаний масс является прямым инструментом для выявления рисков биодegradации отходов, и, следовательно, образования фильтрата и дополнительных эмиссий загрязняющих веществ, что влияет, в свою очередь, на экологическую безопасность комплексов по переработке отходов (КПО).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Мишкин Д.В., Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.107.7>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Mishkin D.V., Pacific National University, Khabarovsk Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.107.7>

Список литературы / References

1. Kaza S. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 / S. Kaza. — Washington : World Bank, 2018. — 292 p. — DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0.

2. Gharfalkar M. Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC / M. Gharfalkar, R. Court, C. Campbell [et al.] // Waste management. — 2015. — Vol. 39. — P. 305–313. — DOI: 10.1016/j.wasman.2015.02.007.

3. Kirchherr J. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions / J. Kirchherr, D. Reike, M. Hekkert // Resources, conservation and recycling. — 2017. — Vol. 127. — P. 221–232. — DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.



4. Ghisellini P. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems / P. Ghisellini, C. Cialani, S. Ulgiati // *Journal of Cleaner Production*. — 2016. — Vol. 114. — P. 11–32. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007.

5. Федеральный закон от 29 декабря 2014 г. N 458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "Об отходах производства и потребления", отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных законодательных актов (положений законодательных актов) Российской Федерации» (с изм. и доп.) : [принят Государственной Думой 23 декабря 2014 года : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2014 года]. — Москва, 2014. — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201412290022> (дата обращения: 20.01.2026).

6. Постановление Правительства РФ от 16 мая 2016 г. N 424 «Об утверждении порядка разработки, согласования, утверждения и корректировки инвестиционных и производственных программ в области обращения с твердыми коммунальными отходами, в том числе порядка определения плановых и фактических значений показателей эффективности объектов, используемых для обработки, обезвреживания и захоронения твердых коммунальных отходов». — Москва, 2016. — URL: <https://base.garant.ru/71401174/> (дата обращения: 20.02.2026)

7. Спири́н М.И. Мусороперегрузочные станции (МПС): эколого-технологические аспекты функционирования / М.И. Спири́н, М.Д. Харламова, Е.И. Аверьянова // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2024. — № 9 (147). — 9 с.

8. Распоряжение Правительства РФ от 25 января 2018 г. № 84-р «Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года». — Москва, 2018. — 59 с.

9. Cristóbal J. Methodology for combined use of data envelopment analysis and life cycle assessment applied to food waste management / J. Cristóbal [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. — 2016. — Vol. 135. — P. 158–168.

10. Swan K. H. Indicators for sustainable and resilient municipal solid waste management: a systematic review and analysis / K.H. Swan, S. Towprayoon, A. Phongphiphat // *Earth Systems and Environment*. — 2025. — P. 1–21.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kaza S. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 / S. Kaza. — Washington : World Bank, 2018. — 292 p. — DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0.

2. Gharfalkar M. Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC / M. Gharfalkar, R. Court, C. Campbell [et al.] // *Waste management*. — 2015. — Vol. 39. — P. 305–313. — DOI: 10.1016/j.wasman.2015.02.007.

3. Kirchherr J. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions / J. Kirchherr, D. Reike, M. Hekkert // *Resources, conservation and recycling*. — 2017. — Vol. 127. — P. 221–232. — DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

4. Ghisellini P. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems / P. Ghisellini, C. Cialani, S. Ulgiati // *Journal of Cleaner Production*. — 2016. — Vol. 114. — P. 11–32. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007.

5. Federal'nyj zakon ot 29 dekabrya 2014 g. N 458-FZ «O vnesenii izmenenij v Federal'nyj zakon "Ob othodah proizvodstva i potrebleniya", otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii i priznanii utrativshimi silu otdel'nyh zakonodatel'nyh aktov (polozhenij zakonodatel'nyh aktov) Rossijskoj Federacii"» (s izm. i dop.) [Federal Law of December 29, 2014 № 458-FZ "On Amendments to the Federal Law "On Production and Consumption Waste", the introduction of legislative acts of the Russian Federation and the recognition of certain legislative acts (provisions of legislative acts) of the Russian Federation as invalid" (with amendments and additions)] : [accepted by the State Duma on December 23, 2014 : approved by the Federation Council on December 25, 2014]. — Moscow, 2014. — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201412290022> (accessed: 20.01.2026). [in Russian]

6. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16.05.2016 N 424 "Ob utverzhdenii poryadka razrabotki, soglasovaniya, utverzhdeniya i korrektyrovki investitsionnyh i proizvodstvennyh programm v oblasti obrashcheniya s tverdyimi kommunal'nymi othodami, v tom chisle poryadka opredeleniya planovyh i fakticheskikh znachenij pokazatelej effektivnosti ob'ektov, ispol'zuemyh dlya obrabotki, obezvrezhivaniya i zahoroneniya tverdyh kommunal'nyh othodov" [Decree of the Government of the Russian Federation of May 16, 2016 No. 424 "On Approval of the Procedure for the Development, Coordination, Approval and Adjustment of Investment and Production Programs in the Field of Solid Municipal Waste Management, Including the Procedure for Determining Planned and Actual Values of Efficiency Indicators of Facilities Used for Processing, Neutralization and Disposal of Solid Municipal Waste"]. — Moscow, 2016. — URL: <https://base.garant.ru/71401174/> (accessed: 20.02.2026). [in Russian]

7. Spirin M.I. Musoroperegruzochnye stancii (MPS): ekologo-tekhnologicheskie aspekty funkcionirovaniya [Waste transfer stations (WTS): environmental and technological aspects of functioning] / M.I. Spirin, M.D. Kharlamova, E.I. Averyanova // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]*. — 2024. — № 9 (147). — 9 p. [in Russian]

8. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 25 yanvarya 2018 g. № 84-r "Strategiya razvitiya promyshlennosti po obrabotke, utilizacii i obezvrezhivaniyu othodov proizvodstva i potrebleniya na period do 2030 goda" [Order of the Government of the Russian Federation of January 25, 2018 No. 84-r "Strategy for the Development of Industry for the Processing, Recycling and Neutralization of Production and Consumption Waste for the Period up to 2030"]. — Moscow, 2018. — 59 p. [in Russian]

9. Cristóbal J. Methodology for combined use of data envelopment analysis and life cycle assessment applied to food waste management / J. Cristóbal [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. — 2016. — Vol. 135. — P. 158–168.

10. Swan K. H. Indicators for sustainable and resilient municipal solid waste management: a systematic review and analysis / K.H. Swan, S. Towprayoon, A. Phongphiphat // *Earth Systems and Environment*. — 2025. — P. 1–21.