

УДК 332.1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

© 2021 А.А. Сидоров¹, Г.Э. Кудинова², А.Г. Розенберг², Г.С. Розенберг²

¹ Самарский государственный экономический университет, г. Самара, Россия

² Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал СамНЦ РАН, г. Тольятти, Россия

Статья поступила в редакцию 02.06.2021

В различных регионах России наблюдаются кризисные явления в обращении с твердыми коммунальными отходами. На решение проблемы направлены основные разделы Национального проекта «Экология», особенно федеральные проекты «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами», «Внедрение наилучших доступных технологий». Однако при переработке и утилизации отходов зачастую проблемы сохранения окружающей среды (экология) вступает в противоречие с финансовой составляющей развития отрасли (экономика). Целью исследования является определение комплексной эколого-экономической эффективности в обращении с отходами на региональном уровне. В исследовании рассмотрена схема технологического процесса обработки твердых коммунальных отходов и проведена оценка эффективности замены технологического оборудования на предприятии «ЭкоРесурсПоволжье» в г.о. Тольятти. Для повышения эффективности переработки отходов предложено провести модернизацию технологии сепарации. С заменой действующих сепараторов на барабанные сепараторы грохоты RMZ TR-4500 возрастают коэффициенты эффективности процесса сортировки и извлечения, процент отбора вторичного сырья. Определены расходы на замену барабанных сепараторов, рассчитан экономический эффект и срок окупаемости предлагаемой модернизации, а так же экологический эффект от снижения поступления отходов на полигон захоронения, продления срока действия полигона, снижения риска выброса опасных компонентов в воздушную среду в случае возгорания на полигоне, загрязнения почвенной и водной среды, а также снижение затрат на захоронение.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, эколого-экономическую эффективность, технологическое оборудование.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-96-103

Данное исследование проводится в рамках государственного задания по темам:

AAAA –A17-117112040040-3 и AAAA-A17-117112040039-7

ВВЕДЕНИЕ

В мире сложились большие проблемы с твердыми коммунальными отходами (ТКО), как в развитых, но особенно в развивающихся странах [1, 2]. По мере урбанизации стран и городов, экономического развития и роста численности населения, по оценкам Всемирного банка, производство ТКО увеличится с 2,01 млрд т в 2016 г. до 3,40 млрд т в 2050 году. Страны с высоким

уровнем дохода вместе взятые производят более одной трети (34 %) мировых отходов, хотя на их долю приходится лишь 16 % населения мира. Восточная Азия и Тихоокеанский регион ответственны за производство почти четверти (23 %) всех отходов. А к 2050 году производство отходов в странах Африки к югу от Сахары, как ожидается, более чем утроится по сравнению с нынешним уровнем, в то время как в Южной Азии поток отходов увеличится более чем вдвое [3].

Сидоров Александр Аркадьевич, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры экономики предприятий агропромышленного комплекса и экологии. E-mail: sidorov120559@yandex.ru

Кудинова Галина Эдуардовна, кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории моделирования и управления экосистемами. E-mail: GKudinova@yandex.ru

Розенберг Анастасия Геннадьевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории моделирования и управления экосистемами.

Розенберг Геннадий Самуилович, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории моделирования и управления экосистемами.

В большинстве развивающихся стран система управления отходами состоит только из четырех видов деятельности: доставка, сбор, транспортировка, утилизация [4]. Муниципалитеты этих стран обычно тратят от 20 до 50% своего имеющегося муниципального бюджета на обращение с ТКО, который обеспечивает лишь менее 50% населения [5]. Поэтому, многие страны придают большее значение эффективности управления отходами [6]. В 2018 году ЕС представил измененное содержание Рамочной директивы по отходам, в которой поставлена амбициозная цель по увеличению повторного использования и переработки муниципальных

отходов как минимум до 65% к 2035 г. [7] Европейская комиссия при этом указала на обращение с отходами, как на один из элементов структуры для мониторинга процесса перехода к экономике замкнутого цикла. Технологической и технической стороне обработки отходов уделяется первостепенное внимание [8, 9, 10, 11].

Экологическая эффективность обращения с отходами определяется снижением экологического ущерба от размещения их на полигоне, химического, физического и биологического загрязнения почвенной, водной и воздушной среды [12]. В странах с высокой экологической ответственностью, как например, в Финляндии, достигаются существенные улучшения в области обращения с отходами. В этой стране количество ТКО, используемых как вторичное сырье, составляет около 40%; термически обезвреживаемых – примерно 33%; захораниваемых на полигонах – 26% [13]. В этой стране предполагается исключить захоронение ТКО на полигонах и использовать только отбор и реализацию вторичного сырья, а также сжигание ТКО на мусоросжигающих заводах. Экологическая эффективность связана также со снижением затрат на платежи за загрязнение окружающей среды и размещение отходов, затрат на рекультивационные работы, затрат на размещение и содержание отходов.

Кризисные явления в обращении с ТКО охватили и различные регионы России [14, 15]. Сбор и вывоз ТКО в стране в последние годы увеличился: в 2018 г. он составлял 275,4 млн м³, а в 2019 г. – уже 304,4 млн м³, то есть рост на 29 млн м³ или на 9,5% [16]. Вместе с тем, на мусороперерабатывающие заводы отходов было завезено крайне мало, соответственно, по годам – 28,1 и 49,3 млн м³, что на фоне мировых тенденций совершенно недостаточно – 10,2 и 16,2 %. На решение данной проблемы направлены основные разделы Национального проекта «Экология», особенно федеральные проекты «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами», «Внедрение наилучших доступных технологий» [17]. Сбор ТКО в стране осуществляется преимущественно смешанным способом, когда отходы без предварительной сортировки собираются в транспортные контейнеры. При этом не только снижается возможность извлечения для дальнейшей утилизации вторичных материальных ресурсов (ВМР) (текстиля, бумаги, пластиковых бутылок, полимерных отходов), но и увеличивается нагрузка на полигоны. Основным способом обращения с ТКО в России до сих пор остается захоронение.

Базовой основой выбора технологии обращения с ТКО служит морфологический и элементный состав отходов. Предпринимаются попытки объединения доступных технологий в оптимальную технологическую схему, исходя из целевого назна-

чения использования отходов в виде ВМР [18]. Масштабное распространение упаковки продукции и полуфабрикатов в последние десятилетия существенным образом изменили морфологию ТКО. В их составе большую долю занимают бумажные и полимерные материалы. В связи с этим, в системе обращения с отходами происходят существенные изменения, как в части отдельного сбора, так и обработки ТКО [19]. Однако проблема переработки и утилизации ТКО стоит остро как на федеральном, так и на региональном уровне, при этом зачастую проблемы сохранения окружающей среды (экология) вступает в противоречие с финансовой составляющей развития отрасли (экономика).

Цель исследования: определить комплексную эколого-экономическую эффективность в обращении с отходами на региональном уровне.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Общий нормативный процесс данного научного исследования, – от выдвижения гипотезы к анализу и интерпретации фактов. Для выполнения исследования предлагается использовать междисциплинарный подход. Основные используемые методологические принципы исследования: принцип учета региональной специфики, принцип информационной обеспеченности исследования и полноты используемых данных, принцип практической реализуемости. При проведении анализа и выработке рекомендаций, использованы методы описания, сравнения, математического и экономического анализа, логического построения. Предложено научно обоснованное определение эколого-экономической эффективности в обращении с отходами на региональном уровне. Материалами для обсуждения послужили Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году, Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об отходах производства и потребления», Постановление Правительства Самарской области от 31 августа 2018 года N 522 Об утверждении государственной программы Самарской области «Совершенствование системы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, на территории Самарской области» на 2018 – 2022 годы, а так же нормативно – правовые документы Российской Федерации, статистические данные и литературные источники информации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 2020 г. суммарная производительность сортировочных станций в Самарской области составляла 703 тыс. т/г, что составляло не более 40% обработки от их общего количества. Предполагается, что доля обработанных ТКО в

общем количестве образованных ТКО в Самарской области в 2021 г. составит 45,5%, а к 2022 г. – 100% [20]. В системе обработки сортировка ТКО является ключевым звеном.

Далее нами рассмотрена схема технологического процесса обработки ТКО и проведена оценка эффективности замены технологического оборудования при обработке ТКО на предприятии «ЭкоРесурсПоволжье» в г.о. Тольятти.

Подвоз ТКО на предприятие производится каждый день, включая праздничные и выходные дни. Предварительная подготовка отходов, поступающих на предприятие, складывается из разгрузки на открытую ровную бетонную площадку и последующего выравнивания слоя высотой, не превышающего одного метра. В отделении приема осуществляется предварительная сортировка массы вручную с целью извлечения из нее крупных составляющих (отходы дерева, покрышки автомобилей, бытовой техники, остатки мебели и др.) и недопущения последующей поломки оборудования перерабатывающего комплекса. Они отделяются от общей массы в соответствующие бункера, содержимое которых периодически перемещаются либо на линии технологической переработки, либо вывозятся на полигон захоронения.

Отселектированная масса поступает на конвейер и подается в закрытое помещение линии сортировки ТКО на действующий роторный сепаратор. Он позволяет разделить поступающие ТКО на две неравноценные массы, которые называются нижним и верхним продуктом. Отличительной особенностью нижнего продукта является его непригодность для последующей обработки. Он представлен отходами мелкой фракции, остатками пищи, сметами с поверхностей в виде пыли, гравия и др., которые по мере накопления вывозятся на площадки захоронения. Верхний продукт используется для получения ВМР и направляется конвейером для последующей обработки ТКО.

Для обработки ТКО используются три мусоросортировочные линии, расположенные на втором пролете производственного корпуса. Каждая линия состоит из конвейера сортировочного длиной 27 м. и шириной 1,4 м, на которых имеется 18 оборудованных мест для ручной сортировки, в совокупности образуя 54 места для сортировщиков, работающих вручную. Поступающие отходы сбрасываются вручную в приемные ячейки, расположенные у каждого рабочего места. Часть отбираемых компонентов (бумага, картон, пленка) сразу же подаются погрузчиком в зону пакетирования, а для сбора остальных отбираемых фракций под каждой ячейкой установлен металлический контейнер. ВМР, пригодные для прессования, отправляют в зону прессования, а затем на склад. Отходы, не пригодные для прессования, отправляют на склад в специально уста-

новленные для них накопители. Отходы, оставшиеся после ручной сортировки, представляют собой не утилизируемую смесь и направляются по ленточному транспортеру в кузов спецтранспорта, который вывозит отходы на завод по переработке коммунальных отходов ОАО «ЗПБО». Кроме ручной сортировки, осуществляемой обслуживающим персоналом на мусоросортировочной линии, применяется и механическая, с помощью вибрационного сепаратора.

Таким образом, на предприятии «ЭкоРесурсПоволжье» схема технологического процесса обработки ТКО выглядит следующим образом:

- транспортировка → взвешивание → накопление, временное хранение → перемещение отходов → предварительная ручная сортировка → сепарация → основная ручная сортировка → пакетирование → взвешивание → хранение или утилизация.

В ходе технологического мониторинга обработки ТКО на предприятии «ЭкоРесурсПоволжье» особое внимание было уделено механической сортировке. Был сделан вывод, что действующий вид сепаратора, имеющийся на предприятии в трех экземплярах - малоэффективен. 70% ТКО на мусоросортировочные комплексы поступают в пакетах, которые сортировщики разрывают уже после прохождения отходов валкового сепаратора. Возможности разрывать пакеты до сепаратора на предприятии отсутствуют. Площадь соприкосновения ТКО и работающих органов сепаратора маленькая, вся продукция, попадающая в верхний отдел агрегата, не отсеивается. В результате чего сепаратор фактически производит перемещение отходов с одной сортировочной ленты на другую, отсеивая всего 3 % балласта. Для увеличения эффективности сортировки предприятию было рекомендовано приобретение новых, более эффективных сепараторов.

Надо признать, что в технологическом процессе обработки ТКО, сепарации или обогащению отходов отводится ведущее место в последующих операциях по их термической и биологической обработке. Метод сепарирования предварительно разделяет отходы, в том числе на металлические фракции, складывающиеся из использованных опасных изделий (бытовые батарейки, аккумуляторы и другие синтетические материалы). По некоторым данным, в результате этого мероприятия, при сжигании отходов уменьшаются вредные выбросы в окружающую среду, например ртути и мышьяка на 70-75 %, свинца – на 40 % [21]. Таким образом, состав ожидаемого ВМР становится технологически более оптимальным, а последующая термическая и биологическая обработка более эффективной и безопасной.

Существует множество видов сепараторов, отличающихся принципом работы, особенно-

стями конструкции и типом перерабатываемого материала: динамический, барабанный, баллистический, легкой и тяжелой фракции. Преимущественное изучение сепараторов отдавалось тем, которые предназначены для переработки ТКО с отсеиванием мелкой фракции.

Наиболее подходящим, на наш взгляд, является барабанный сепаратор, так как он:

- разделяет отходы на фракции;
- имеет ножи для разрыва пакетов;
- не требует установки дополнительной сортировочной линии.

Главная функция предлагаемых новых барабанных сепараторов грохотов RMZ TR-4500 - отделение балластных включений из общей крупной массы для облегчения отбора вторичного материала.

Для расчета эффективности замены сепараторов рассмотрим морфологический состав отходов, поступающих на ООО «ЭкоРесурсПоволжье» (табл. 1).

Исходными данными для расчетов по выбору сепаратора выступают: объем ТКО – 2 млн. м³/год, масса отходов ТКО – 200000 тыс. т. Зная морфологический состав отходов, поступающих на сортировку, можно оценить возможный процент извлечения вторичного сырья по предложенной формуле [22].

В ней доля извлеченного вторичного сырья складывается из учета показателя эффективности сортировки, количества получаемых продуктов, степени извлечения каждого компонента и доли конкретного продукта в общей массе.

Расчеты извлечения ВМР показали техническую эффективность замены сепараторов (табл. 2).

Таблица 1 – Морфологический состав ТКО

Материал	кг	%
Стекло	24,8	3,32
Картон	7,417	0,9
РТИ (покрышки)	2,039	0,25
ПЭТ	18,05	2,18
ПЭТ (молоко)	0,485	0,06
ПЭТ (масло)	0,364	0,04
Пластик (быт.хим)	2,724	0,33
Упаковочные материалы (мелкие полиэтиленовые пакеты, бумажная упаковка)	32,63	3,94
Текстиль (загрязненный)	9,267	1,12
Грязный ПНД+ПВД*	11,73	1,42
Металл черный	19,881	2,4
Банки консервные	1,64	0,24
Металл цветной (алюминий)	14,911	1,8
Тюбики из ПНД	178,93	21,6
Отходы деревянные	21,289	2,57
Отходы пищи, растительный смет	291,429	35,18
Смет неорганический (земля)	187,63	22,65
Всего	828,394	100

*ПНД, ПВД - полиэтилен низкого и высоко давления (плотности)

Таблица 2 – Расчетное извлечение ВМР до и после замены сепараторов

Компонент	Коэффициент эффективности процесса сортировки		Коэффициент извлечения		Процент отбора вторичного сырья		Масса отобранного компонента, тонн	
	до	после	до	после	до	после	до	после
Картон	0,6	0,7	0,4	0,4	45,6	53,2	1732,8	2021,6
Пленка	0,5	0,6	0,5	0,6	35,5	51,6	1008,2	1451,8
ПЭТ бутылка	0,6	0,7	0,7	0,7	91,6	100,0	3992,0	4657,3
Стекло	0,4	0,5	0,4	0,5	53,1	83,5	3527,2	5511,2
Черные металлы	0,4	0,5	0,6	0,6	2,4	3	4,8	6
Цветные металлы	0,5	0,6	0,4	0,5	1,8	2,7	3,2	4,9
ПНД тюбики	0,6	0,7	0,6	0,7	21,6	29,4	259,2	352,8
Итого							10 527,4	14 005,6

С заменой действующих сепараторов на барабанные сепараторы грохоты RMZ TR-4500 возрастают коэффициенты эффективности процесса сортировки и извлечения, % отбора вторичного сырья. Производство увеличит количество извлеченного компонента на 3478,2 т/год. После замены сепаратора предприятие будет отбирать больше ВМР, количество отходов, вывозимые на полигон уменьшится, соответственно уменьшатся расходы на складирование.

В экономическом регулировании, в отношении обращения с отходами в РФ, выступают принципы:

- уменьшения количества отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот,
- платности размещения отходов,
- экономического стимулирования подобной деятельности.

Таким образом, прямой задачи извлечения прибыли, в обращении с отходами, не предусматривается [23]. Вместе с тем, получение ВМР и включение их в коммерческий оборот, вполне перспективное дело.

Сравнительная оценка показала, что при замене сепараторов количество ВМР возрастает в связи увеличивающейся массой извлекаемого компонента (табл. 3).

Так, масса извлекаемого компонента составляет от работы нового сепаратора 14005,6 т/г, тогда как старого всего 10527,4 т/год, разница составляет 3478,2 т/год. Количество отходов, поступающих на полигон, уменьшится, соответственно снизятся и расходы на их складирование. Общая стоимость дополнительно получаемых ВМР при этом будет увеличена на 23 885 408 руб/год (135 445 080 – 111 559 672).

Расчет годовых затрат на складирование ТКО на полигоне проводили по формуле:

$$Z = (Z_{\text{сбор}} + Z_{\text{содерж.}}) * (K_{\text{ТКО}} - M_{\text{ВМР}}),$$

где Z – годовые затраты на складирование ТКО на полигоне, тыс. руб/год;

$Z_{\text{сбор}}$ – затраты на сбор и транспортировку 1 т ТКО, 38 руб/т;

$Z_{\text{содерж.}}$ – затраты на содержание 1 т ТКО, 35 руб/т;

$K_{\text{ТКО}}$ – количество складироваемых ТКО, 200000 т/год;

$M_{\text{ВМР}}$ – масса извлекаемого компонента сепараторами; т/год.

На основании расчетов получено, что:

в результате работы старого сепаратора расходы на складирование составили

$$(38+35) * (200000-10527,4)=13\ 831\ 499,8 \text{ руб/год,}$$

в результате работы нового сепаратора расходы на складирование составили

$$(38+35) * (200000-14005,6)=13\ 577\ 591,2 \text{ руб/год.}$$

Следовательно, расходы на складирование уменьшились на 253 908,6 руб/год.

В производственной цепи задействованы 3 сортировочные линии, на каждой необходима замена сепаратора.

Расходы на замену барабанных сепараторов грохотов RMZ TR-4500 (ОАО «РЖЕВМАШ») составили:

$$(3\ 850\ 000 + 1\ 925\ 000) * 3 = 17\ 325\ 000 \text{ руб,}$$

где 3 850 000 руб. – стоимость одного сепаратора.

1 925 000 руб. – затраты на транспортировку и установку.

Расчет экономического эффекта от внедрения нового сепаратора ТКО определяется путем сопоставления затрат на осуществление мероприятий и дополнительной прибылью от внедрения [24, 25]

Также, нами были рассчитаны дополнительные затраты, доход после внедрения оборудования и срок, за который оно окупится.

Годовые плановые затраты в руб/т сложились из следующих затрат (табл. 4)

Полные дополнительные затраты за год рассчитывались исходя из годовых плановых затрат и разницы выхода ВМР:

$$765 * (14005,62 - 10527,4) = 2660838,30 \text{ руб/год.}$$

Рассчитаем, за сколько месяцев новые сепараторы окупят свою стоимость и затраты на установку:

$$(РП + РГЗ - ДЗ)/12,$$

Таблица 3 – Сравнительное количество и стоимость ВМР при замене сепараторов

Компоненты, выделенные из ТКО	Масса извлекаемого компонента, т/г		Средняя цена ВМР, руб/кг	Общая стоимость ВМР, руб/г	
	старый сепаратор	новый сепаратор		старый сепаратор	новый сепаратор
Картон	1732,8	2021,6	7	12 129 600	14 151 200
Пленка	1008,2	1451,8	5	5 041 000	7 259 040
ПЭТ бутылка	3992,0	4657,3	20	79 840 320	93 147 040
Стекло	3527,2	5511,2	1,5	5 290 752	8 266 800
Черные металлы	4,8	6	5	24 000	30 000
Цветные металлы	3,2	4,9	50	162 000	243 000
ПНД тубики	259,2	352,8	35	9 072 000	12 348 000
Всего	10527,4	14005,6		111 559 672	135 445 080

Таблица 4 - Годовые плановые затраты

Вид затрат	Затраты, руб/т
плановый ремонт	170
прессование	220
амортизация оборудования	30
погрузо-разгрузочные работы	170
заработная плата	175
Итого	765

где РП — разница прибыли от полученного ВМР между старым и новым оборудованием, 23885408 руб/год;

РГЗ — разница годовых затрат на складирование ТКО от старого и нового оборудования, 253908,6 руб/год.;

ДП — дополнительные затраты, 2660838,30 руб./год.

Экономический эффект составит:

$$(23885408 + 253908,6 - 2660838,30) = \\ = 21478478,3 \text{ руб/год}$$

или = 1789873,19 руб/мес.

Срок окупаемости исходя из затрат на новое оборудование и планируемого экономического эффекта (17325000/1789873) будет равен 9,7 месяцев.

Вместе с тем, с учетом ожидаемого получения доходов из расчета за год, то срок окупаемости можно отнести к календарному году. То есть, три новых барабанных сепаратора грохота RMZ TR-4500 окупят свою стоимость, транспортировку и установку примерно за год.

ВЫВОДЫ

Таким образом, расчеты показали, что в результате замены в технологическом процессе сортировки и сепарации ТКО на новые барабанные сепараторы грохоты RMZ TR-4500:

- экологический эффект сложится из снижения поступления ТКО на полигон захоронения на 3478,20 тонн/год, что продлит срок действия полигона, снизит риск выброса опасных компонентов в воздушную среду в случае возгорания на полигоне, загрязнения почвенной и водной среды, а также снизит затраты на захоронение на 253 908,6 руб/год;

- экономический эффект составит 21 478 478,3 руб./год от дополнительной продажи ВМР, а срок окупаемости нового оборудования составляет примерно 1 год.

Следовательно, замена барабанных сепараторов грохотов RMZ TR-4500 обеспечит комплексную эколого-экономическую эффективность в обращении с отходами, экономически эффективна и экологически целесообразна. Позволит улучшить экологическую ситуацию в г. Тольятти, снизит нагрузку на окружающую

природную среду, снизит экологический ущерб от размещения ТБО на полигоне, химического, физического и биологического загрязнения почвенной, водной и воздушной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smol M., Duda J., Czaplicka-Kotas A., Szoldrowska D. Transformation towards Circular Economy (CE) in Municipal Waste Management System: Model Solutions for Poland. *Sustainability*. 2020, 12, 4561. DOI:10.3390/su12114561
2. Sun C., Meng X., Peng S. Effects of Waste-to-Energy Plants on China's Urbanization: Evidence from a Hedonic Price Analysis in Shenzhen. *Sustainability*. 2017;9:475. DOI: 10.3390/su9030475.
3. Что такое Отходы 2.0: Глобальный обзор обращения с твердыми отходами до 2050 года [Электронный ресурс] // Сайт Группы Всемирного банка. – <http://datatopics.worldbank.org/what-a-waste>.
4. Agovino M., D'Uva M., Garofalo A., Marchesano K. Waste management performance in Italian provinces: Efficiency and spatial effects of local governments and citizen action. *Ecological Indicators*. 2018; 89:680–695. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.02.045.
5. Mpinda M. T., Abass O. K., Bazirake M. B., Nsokimieno E. M. M., Mylor N. S., Kayembe K. W. M., Zakari S., Khonde R. Towards the Efficiency of Municipal Solid Waste Management in the Democratic Republic of Congo (DRC): Case Study of Lubumbashi. *American journal of environmental sciences*. 2016;12:193-205. DOI: 10.3844/ajessp.2016.193.205.
6. Yang Q., Fu L., Liu X., Cheng M. Evaluating the Efficiency of Municipal Solid Waste Management in China. *Environmental Research and Public Health*. 2018 Nov; 15(11): 2448. DOI: 10.3390/ijerph15112448.
7. European Commission. Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2008/98/EC on Waste;

- European Commission: Brussels, Belgium, 2018.
8. Peng H., Zhou J. Study on urban domestic waste recycling process and trash can automatic subdivision standard // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. Vol. 330, № 3. P. 032043. DOI:10.1088/1755-1315/330/3/032043.
 9. Rajak A., Hasan S., Mahmood B. Automatic waste detection by deep learning and disposal system design // Journal of Environmental Engineering and Science. 2019. P. 1–7. DOI: 10.1680/jenes.19.00023.
 10. Ajay V.P., Kishanth A., Kumar V., Devi R.S., Rengarajan A., Thenmozhi K., Praveenkumar P. Automatic Waste Segregation and Management //2020 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI). IEEE, 2020. P. 1–5. DOI: 10.1109/ICCCI48352.2020.9104196.
 11. Кудинова Г.Э. Инновационные методы защиты окружающей среды путем рекультивации отработанных карьеров твердыми бытовыми отходами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1. С. 306–312.
 12. Сидоров А.А. Индикаторы экологической результативности. В сб.: Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем // Материалы пятой Международной конференции. Институт экологии Волжского бассейна РАН; Самарский государственный экономический университет. 2018. С. 238–245.
 13. Венцюлис Л.С., Воронов Н.В., Быстрова Н.Ю. Экономическая и экологическая эффективность системы обращения с твердыми коммунальными отходами в Финляндии // Вестник МАНЭБ. 2018. Т. 23. № 2. – С. 66–71.
 14. Степанова И.А., Степанов А.С. Обзор систем сбора и удаления отходов в антропогенных экосистемах // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9. № 2 (31) С.121–131. DOI 10.17816/snv202120.
 15. Румянцева Е.Е. Кризис в области обращения с отходами в России: стратегические цели государственной политики и реальная практика // Экономика в промышленности. 2019. Т. 12. № 2. С. 159–166. DOI: 10.17073/2072-1633-2019-2-159-166.
 16. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году [Электронный ресурс]. URL: www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/proekt_gosudarstvennogo_doklada_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federat2019/ (дата обращения: 24.02.2021).
 17. Сидоров А.А., Кудинова Г.Э., Розенберг Г.С., Розенберг А.Г. Национальный проект «Экология»: планы и промежуточный ход реализации // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2020. Т. 9. № 3 (32). - С. 219–224. DOI: 10.26140/anie-2020-0903-0050.
 18. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. О технологической модели экологически безопасного управления твердыми бытовыми отходами. Экологические системы и приборы. 2016, №7. – С.13–36.
 19. Шайдулова А.О. Методические указания для производственной практики по сортировке ООО «ЭкоРесурсПоволжье». – Тольятти: ООО «ЭкоРесурсПоволжье», 2019. - 23 с.
 20. Постановление Правительства Самарской области от 31 августа 2018 года N 522 Об утверждении государственной программы Самарской области «Совершенствование системы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, на территории Самарской области» на 2018 - 2022 годы. [Электронный ресурс] - URL: <http://docs.cntd.ru/document/550184032> (дата обращения: 24.02.2021).
 21. Сепараторы отходов: обзор оборудования // Твердые бытовые отходы. 2012. №1 (67). – С.34–35.
 22. Богатова И.Б. Экономика природопользования: учебно-методическое пособие . Тольятти: Волжский университет им. В.Н. Татищева, 2016. - 47 с.
 23. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об отходах производства и потребления» [Электронный ресурс] - URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/f380561eb65d28708f522e4230771b49d1d5eb4e/ (дата обращения: 24.02.2021).
 24. Экономическая эффективность технических решений : учебное пособие / С.Г. Баранчикова [и др.]; под общ. ред. проф. И. В. Ершовой.- Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016.— 140 с.
 25. Кубарев М.С., Стровский В.Е., Перегон И.В. Методический подход к оценке эколого-экономической эффективности использования отходов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2017. №1. - С.31–38.

SOLID MUNICIPAL WASTE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

© 2021 A.A. Sidorov¹, G.E. Kudinova² A.G. Rozenberg², G.S. Rozenberg²

¹ Samara State University of Economics, Samara, Russia

² Samara Federal Research Scientific Center RAS,
Branch of Institute of Ecology of the Volga River Basin of RAS, Togliatti, Russia

In various regions of Russia, there is some sort of crisis in the handling of municipal solid waste. The National Project “Ecology” is aimed at solving this problem, as well as the federal projects “Integrated system of solid municipal waste management” and “Implementation of the best available technologies”. However, in the processing and disposal of waste, the problems of preserving the environment (ecology) often come into conflict with the financial component of the development of the industry (economy). The aim of the study is to determine the integrated environmental and economic efficiency of waste management at the regional level. The study considers the scheme of the technological process for the processing of municipal solid waste and assesses the efficiency of replacing the technological equipment at the “EcoResourcePovolzhie” enterprise based in the city of Togliatti. The authors suggest modernization of separation technology to improve the efficiency of waste processing. With the replacement of the existing separators with drum separators, screens RMZ TR-4500, the efficiency coefficients of the sorting and extraction process, the percentage of selection of secondary raw materials, increase. The costs of replacing drum separators were determined, the economic effect and payback period of the proposed modernization were calculated, as well as the environmental effect of reducing the flow of waste to the landfill, extending the life of the landfill, reducing the risk of the release of hazardous components into the air in the event of fire at the landfill, soil pollution and aquatic environment, as well as reducing disposal costs.

Keywords: solid municipal waste, ecological and economic efficiency, technological equipment.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-96-103

Alexander Sidorov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Economics of Agricultural Enterprises and Ecology. E-mail: sidorov120559@yandex.ru

Galina Kudinova, Candidate of Economical Sciences, Senior Researcher, Laboratory for Modeling and Ecosystem Management. E-mail: GKudinova@yandex.ru

Anastasia Rozenberg, Candidate of Biological Sciences, Research Associate in Laboratory for Modeling and Ecosystem Management.

Gennady Rozenberg, Corr. RAS, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Laboratory for Modeling and Ecosystem Management.