

Анализ перспектив извлечения материального и энергетического потенциала из потоков твёрдых бытовых отходов

© 2013. Я. В. Базылева, магистрант, Н. Н. Слюсарь, к.т.н., доцент,
Г. В. Ильиных, ст. преподаватель, В. Н. Коротаев, д.т.н., профессор,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
e-mail: nnslyusar@gmail.com

В работе представлены результаты анализа перспектив извлечения из потока смешанных твёрдых бытовых отходов (ТБО) вторичных материальных и энергетических ресурсов. Проведена оценка материального и энергетического потенциала ТБО на примере отходов г. Перми, разработаны схемы материальных балансов процессов оптико-механической сортировки ТБО с выделением вторичного сырья и компонентов вторичного топлива из отходов, определены трансфер-коэффициенты отдельных стадий отбора.

The paper presents the results of the analysis of the prospects of getting secondary material and energy resources from mixed municipal solid waste. The assessment of the material and energy potential of municipal solid waste by the example of Perm City was made; the material balance schemes for the optical-mechanical sorting process of municipal solid waste with recovery of secondary raw materials and components of secondary fuels were worked out.

Ключевые слова: твёрдые бытовые отходы, ресурсный потенциал, вторичное топливо, оптико-механическая сортировка отходов

Keywords: municipal solid waste, resource potential, refuse derived fuel, optical mechanical waste sorting

Введение

В последнее время в РФ отмечается устойчивая тенденция роста объёмов образования отходов производства и потребления. При использовании существующих подходов к обращению с отходами лишь незначительная часть отходов отсортировывается и подвергается переработке, основная масса отходов поступает на захоронение. Это приводит к переполнению полигонов, изъятию дополнительных площадей для захоронения отходов и как результат к увеличению нагрузки на окружающую среду.

Твёрдые бытовые отходы (ТБО), обладающие материальным потенциалом, подвергаются переработке с целью их частичного вторичного использования. Получать вторичное сырьё представляется возможным из некоторых фракций бумаги, картона, пластика, а также чёрных и цветных металлов. Именно эти компоненты необходимо отсортировать из общего потока ТБО.

Кроме материального потенциала, некоторые фракции ТБО обладают высокой теплотворной способностью (энергетическим потенциалом). Использовать энергетический потенциал отходов можно путём получения вторичного топлива из них, продукта переработки их, когда из

потока отходов удаляются негорючие материалы, а горючие компоненты используются в качестве топлива для производства энергии [1]. Для производства вторичного топлива и отходов используются фракции с высокой теплотворной способностью. В состав топлива могут входить пластик, бумага, древесина, а также текстиль и прочие категории отходов, обладающие высоким энергетическим потенциалом. Негорючие фракции, такие, как стекло, чёрные и цветные металлы, отходы с высокой влажностью, должны быть удалены из общего состава. В состав вторичного топлива из отходов попадают те горючие фракции, которые непригодны для их вторичного использования.

Цель работы: оценка материального и энергетического потенциала твёрдых бытовых отходов и возможностей его извлечения.

Материалы исследований

На основании морфологического состава ТБО г. Перми [2] можно определить материальный и энергетический потенциал ТБО (рис. 1, 2).

Таким образом, около 30 % от общего числа отходов г. Перми обладают материальным

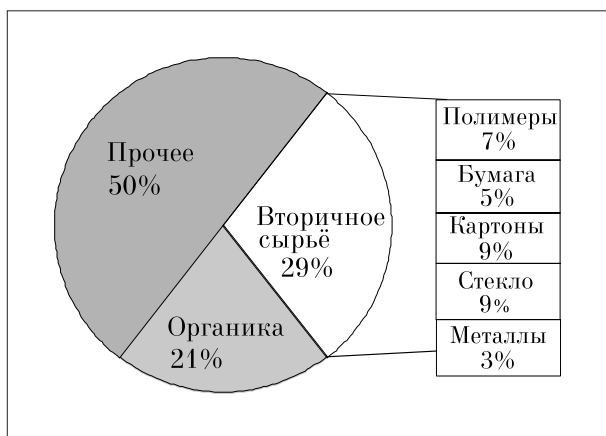


Рис. 1. Материальный потенциал ТБО г. Перми

потенциалом. В данную категорию попадают фракции отходов, которые могут быть отобраны из потока ТБО в процессе сортировки, для которых существуют экономически и технически обоснованные методы переработки.

При анализе морфологического состава ТБО г. Перми с точки зрения энергетического потенциала можно сделать вывод, что около 47% ТБО обладают высокой теплотворной способностью и могут быть использованы в производстве вторичного топлива (рис. 2).

При этом следует учитывать, что приоритетным направлением переработки отходов в настоящее время является извлечение вторичного сырья [3] и получение вторичного топлива из отходов целесообразно из «хвостов» сортировки.

Наиболее полное выделение необходимых фракций из общего потока ТБО достигается при помощи оборудования оптико-механической сортировки отходов. На современных линиях сортировки для определения материала ТБО используются системы оптических датчиков и сенсоров. Определение материала происходит путём измерения длины волны при облучении потока отходов.

Одним из примеров такой автоматической сортировки являются технологические линии производства TITESH GmbH (Германия). Данное оборудование характеризуется высокой степенью отбора материалов, что достигается при помощи системы двойного сканирования каждого потока. При этом используются два сенсора, предназначенные для различных областей спектра, для сортировки материалов по специфическому спектру излучения [4].

Данное оборудование можно применять как для отбора компонентов ТБО, являющихся вторичным сырьём, так и для отбора фракций с высокой теплотворной способностью.

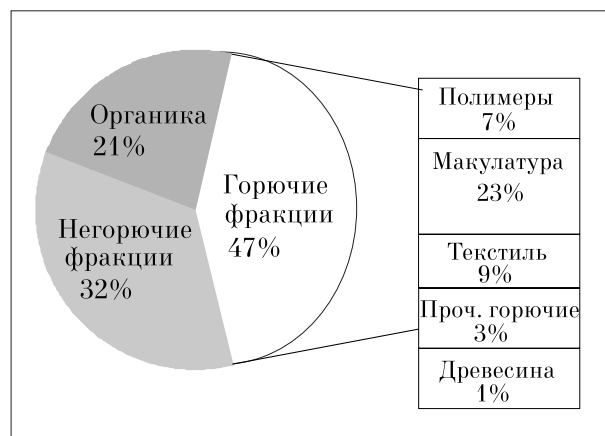


Рис. 2. Энергетический потенциал ТБО г. Перми

Схема материальных потоков линии сортировки, предназначенной для отбора фракций ТБО, обладающих материальным и энергетическим потенциалом, представлена на рисунке 3.

Отходы из мусоровозов подаются на конвейер и попадают в машину для разрыва мешков. Далее они проходят через сито с диаметром ячеей 280 мм, что позволяет отделить крупные фракции (более 280 мм), которые измельчаются в дробилке, а затем возвращаются к общему потоку отходов. При помощи ручной сортировки отбирается стекло. Затем в барабанном сите происходит разделение отходов на фракции с диаметром менее 50 мм и фракции с диаметром 50–280 мм. Из мелких фракций на магните извлекаются металлы, всё остальное отводится для транспортировки на полигон.

Фракции с диаметром 50–280 мм также попадают на магнит для отбора металлов, а затем направляются на станции сортировки TITESH autosort, оборудованные датчиками оптического распознавания материалов. Фракции, пригодные для дальнейшей переработки (пластик, бумага, картон и пр.), отводятся для их дальнейшего вторичного использования, остальные горючие фракции отбираются как компоненты вторичного топлива из отходов. Неутилизируемые остатки направляются на захоронение.

Если обозначить весь поток входящих ТБО как X , то составляющие его компоненты будут соответственно x с индексами, соответствующими содержанию фракции (стекло, пластик, бумага и т. д.).

Тогда весь поток ТБО можно представить как:

$$X = \sum_{i=1}^n x_i$$

где x_i – содержание i -го компонента в морфологическом составе ТБО (%), n – количество фракций в составе ТБО.

Содержание каждой фракции на той или иной стадии процесса будет определяться как

$$c_i = \sum_{a=1}^b x_i \cdot k_i^a,$$

где i – наименование фракции, a – номер стадии процесса сортировки, b – количество стадий, на которых отбирается i -я фракция.

Для того чтобы рассчитать количество вторичного сырья, которое можно извлечь из потока при известном морфологическом составе ТБО, необходимо определить фракции, обладающие материальным потенциалом. В настоящее время к таким материалам можно отнести офисную бумагу, тяжёлый картон, ПЭТ-бутылки и металлы, т. е. те фракции ТБО, для которых развит рынок переработки.

Таким образом, из фракций бумаги, картона и пластика выделяются несколько компонентов, которые используются в качестве вторичного сырья:

$$\begin{aligned} X_{\text{бум}} &= X_{\text{оф.бум}} + X_{\text{пр.бум}}; \\ X_{\text{кар}} &= X_{\text{тяж.кар}} + X_{\text{пр.кар}}; \\ X_{\text{пл}} &= X_{\text{ПЭТ}} + X_{\text{пп}} + X_{\text{пл}} + X_{\text{пр.пл}} \end{aligned}$$

Тогда

$$X_{\text{втор}} = X_{\text{оф.бум}} + X_{\text{тяж.кар}} + X_{\text{ПЭТ}} + X_{\text{ме}},$$

где $X_{\text{втор}}$ – поток вторичного сырья, выделенного из общего потока ТБО.

Несмотря на высокий уровень отбора, при помощи автоматической сортировки невозможно полностью отсортировать каждую фракцию. При этом степень отбора каждой

фракции на соответствующей стадии технологического процесса определяется с использованием трансфер-коэффициента. Трансфер-коэффициенты показывают, какая часть определённой фракции может быть отобрана на конкретной стадии процесса. Эти коэффициенты обозначаются k и индексируются в зависимости от состава фракции (нижний индекс) и номера стадии процесса (верхний индекс).

С учётом эффективности отбора линии автоматической сортировки для каждой фракции были определены трансфер-коэффициенты, определяющие долю компонента, выходящего из системы на стадии a (табл. 1).

Исходя из полученных данных, можно определить, что в качестве вторичного сырья из общего потока ТБО будут выделены:

$$X_{\text{втор}} = 0,95 X_{\text{хоф.бум}} + X_{\text{тяж.кар}} + X_{\text{ПЭТ}} + X_{\text{ме}}.$$

В качестве компонентов для получения вторичного топлива будут отобраны:

$$X_{\text{RDF}} = 0,95 X_{\text{пр.бум}} + X_{\text{пр.кар}} + 0,8 X_{\text{пп}} + X_{\text{пл}} + 0,95 X_{\text{пр.пл}} + X_{\text{те}}.$$

При отсутствии необходимости выделять компоненты для вторичного сырья, существует возможность увеличить состав компонентов вторичного топлива за счёт использования не материального, а энергетического потенциала некоторых компонентов.

При этом принципиальная схема сортировки заметно упрощается, так как автоматическая сортировка после ряда операций позволяет в одну стадию выделить все необходимые

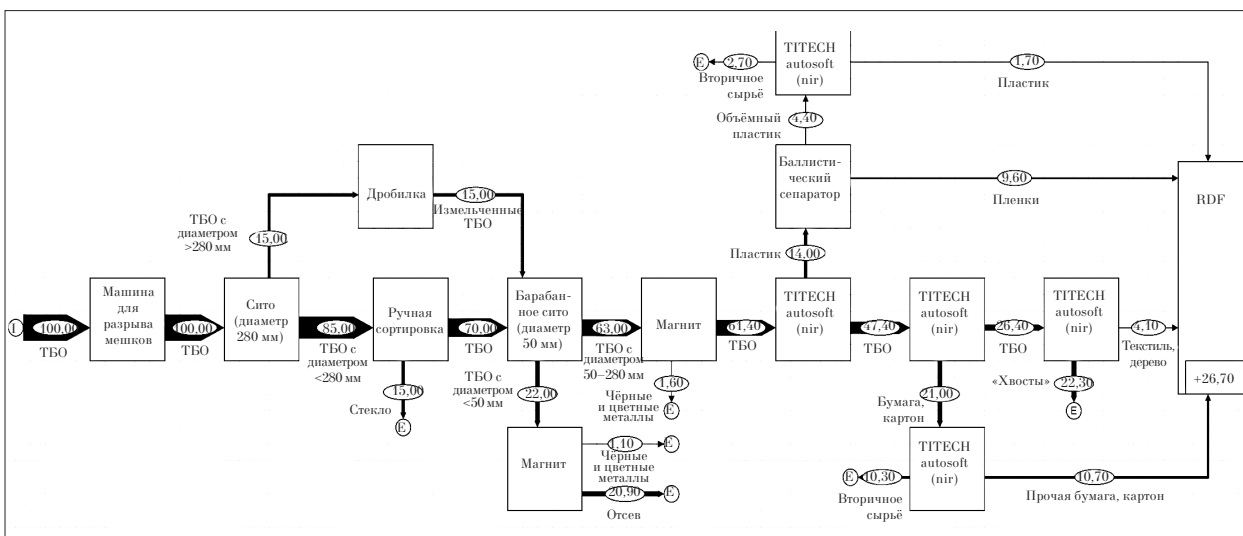


Рис. 3. Принципиальная схема процесса оптико-механической сортировки ТБО с выделением вторичного сырья и компонентов вторичного топлива из отходов

Таблица 1

Трансфер-коэффициенты для процесса оптико-механической сортировки ТБО с выделением вторичного сырья и компонентов вторичного топлива

	Стекло (ст)	Бумага офисная (оф. бум)	Бумага прочая (пр. бум)	Картон тяжёлый (тяж. кар)	Картон прочий (пр. кар)	Чёрные и цветные металлы (ме)	Органика (орг)	ПЭТ	ПП	Плёнки (пл)	Прочие пластики (пр. пл)	Текстиль (те)	Прочее (пр)
k_1	-	0,1	0,1	0,8	0,8	-	-	-	0,15	0,4	0,15	-	0,2
k_2	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
k_3	0,15	0,05	0,05	-	-	0,275	0,8	-	0,05	-	0,05	-	0,2
k_4	0,15	0,05	0,05	-	-	0,275	0,8	-	0,05	-	0,05	-	0,2
k_5	-	-	-	-	-	0,625	-	-	-	-	-	-	-
k_6	-	-	-	-	-	-	-	1	0,8	1	0,95	-	-
k_7	-	-	-	-	-	-	-	1	0,8	1	0,95	-	-
k_8	-	-	-	-	-	-	-	1	0,8	1	0,95	-	-
k_9	-	0,95	0,95	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
k_{10}	-	0,95	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
k_{11}	0,1	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	0,8

Стадия 1 – сито диаметром 50 мм;	Стадия 5 – магнит;	Стадия 9 – ТПТЕСН autosort;
Стадия 2 – ручная сортировка;	Стадия 6 – ТПТЕСН autosort;	Стадия 10 – ТПТЕСН autosort;
Стадия 3 – сито диаметром 50 мм;	Стадия 7 – баллистический сепаратор;	Стадия 11 – ТПТЕСН autosort.
Стадия 4 – магнит;	Стадия 8 – ТПТЕСН autosort;	

Таблица 2
Трансфер-коэффициенты для схемы процесса оптико-механической сортировки ТБО с выделением вторичного сырья и компонентов вторичного топлива

	Стекло (ст)	Бумага офисная (оф. бум)	Бумага прочая (пр. бум)	Картон тяжёлый (тяж. кар)	Картон прочий (пр. кар)	Чёрные и цветные металлы (ме)	Органика (орг)	ПЭТ	ПП	Плёнки (пл)	Прочие пластики (пр. пл)	Текстиль	Прочее
k_1	-	0,1	0,1	0,8	0,8	-	-	-	0,15	0,4	0,15	-	0,2
k_2	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
k_3	0,15	0,05	0,05	-	-	0,275	0,8	-	0,05	-	0,05	-	0,2
k_4	0,15	0,05	0,05	-	-	0,275	0,8	-	0,05	-	0,05	-	0,2
k_5	-	-	-	-	-	0,625	-	-	-	-	-	-	-
k_6	0,1	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	0,8
Стадия 1 – сито диаметром 50мм; Стадия 2 – ручная сортировка;				Стадия 3 – сито диаметром 50мм; Стадия 4 – магнит;				Стадия 5 – магнит; Стадия 6 – ТПЕСН autosort					

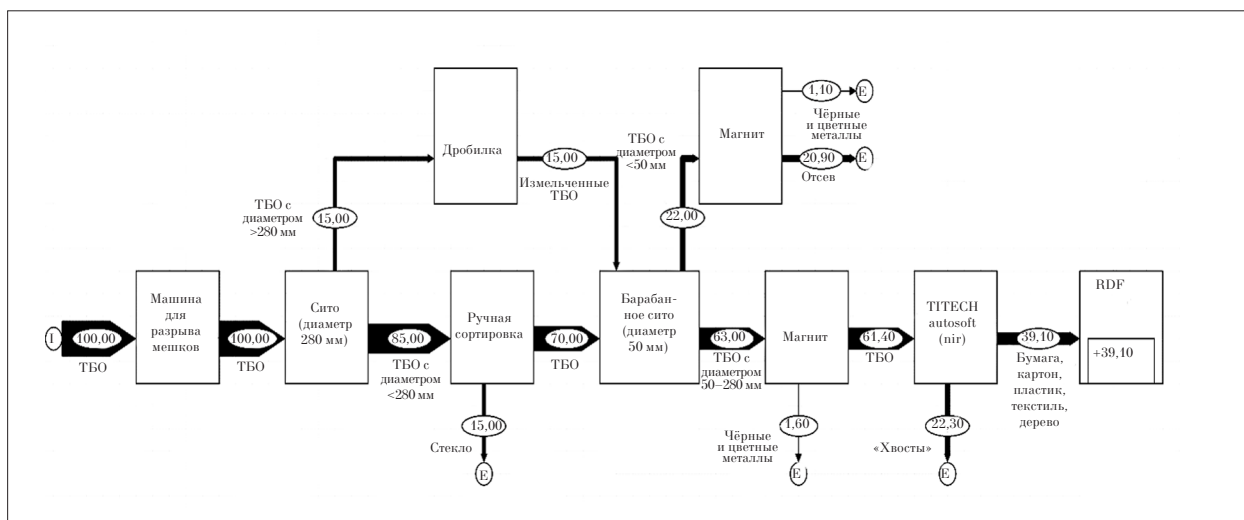


Рис. 4. Принципиальная схема процесса оптико-механической сортировки ТБО с выделением компонентов вторичного топлива

фракции (рис. 4). Из общего объёма ТБО к компонентам вторичного топлива из отходов будут относиться такие фракции, как бумага, картон, пластик, текстиль и древесина.

Тогда

$$X_{RDF} = X_{\text{оф.бум}} + X_{\text{пр.бум}} + X_{\text{тяж.кар}} + X_{\text{пр.кар}} + X_{\text{ПЭТ}} + X_{\text{пл}} + X_{\text{пр.пл}} + X_{\text{те}}$$

Так же, как и в предыдущей схеме, для каждой стадии были определены трансфер-коэффициенты каждой фракции ТБО (табл. 2).

Общий состав компонентов вторичного топлива из отходов без выделения вторичного сырья можно определить как:

$$X_{RDF} = 0,95x_{\text{хпр.бум}} + x_{\text{пр.кар}} + 0,8x_{\text{хпл}} + x_{\text{пл}} + 0,95x_{\text{хпр.пл}} + x_{\text{те}} + 0,95x_{\text{оф.бум}} + x_{\text{тяж.кар}} + x_{\text{ПЭТ}}$$

При использовании такой схемы процесса количество компонентов вторичного топлива увеличивается за счёт того, что используется энергетический потенциал каждой фракции, а не материальный.

При разработке концепций обращения с отходами в первую очередь учитывается, что часть фракций ТБО обладает материальным потенциалом. Для его извлечения необходимо отсортировать те компоненты ТБО, которые могут быть использованы в качестве вторичного сырья. После отбора таких фракций в составе «хвостов» сортировки остаётся часть отходов с энергетическим потенциалом. Эти компоненты ТБО можно использовать для получения вторичного топлива из отходов.

Выводы

При использовании автоматической сортировки в качестве вторичного сырья можно выделить около 20% всех ТБО, а в качестве компонентов для вторичного топлива – примерно 25%. При отсутствии необходимости отбирать вторичное сырьё доля компонентов вторичного топлива, извлечённая из общего объёма ТБО, может возрасти до 40%.

Работа выполнена в рамках реализации соглашений о предоставлении и целевом использовании субсидий для реализации научных проектов международными исследовательскими группами учёных на базе государственных образовательных учреждений Пермского края.

Литература

1. Вайсман Я.И. Управление отходами. Механобиологическая переработка твёрдых бытовых отходов. Компостирование и вермикомпостирование органических отходов. 2012. С. 23–26.
2. Ильиных Г.В., Сангаджиева Т.Н. Актуальность исследований норм накопления, состава и свойств твёрдых бытовых отходов при разработке генеральных схем санитарной очистки населённых пунктов // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2012. № 3. С. 39–48.
3. Вайсман Я.И. Тенденции и перспективы управления твёрдыми бытовыми отходами на урбанизированных территориях // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2011. № 1. С. 81–99.
4. Борисов Д.Л., Григорьев В.Н., Слюсарь Н.Н. Разработка комплексной технологической схемы сортировки твёрдых бытовых отходов // Вестник ПГТУ. Урбанистика. 2011. № 3. С. 76–78.