

УДК 504.064.47

Г.В. Ильиных, Е.А. Устьянцев, Я.И. ВайсманПермский национальный исследовательский
политехнический университет**РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ХВОСТОВ РУЧНОЙ
СОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Рассмотрена технологическая схема ручной сортировки отходов, показана схема формирования потока хвостов и значимость использования их ресурсного потенциала. На примере сортировочной линии г. Екатеринбурга выполнены исследования морфологического состава хвостов ручной сортировки ТБО, результаты которых использованы для оценки ресурсного материального и энергетического потенциала данного потока.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, морфологический состав отходов, анализ состава ТБО, ресурсный потенциал отходов, ручная сортировка ТБО, материальный баланс.

Введение. Развитие крупных и малых населенных пунктов сопровождается образованием все большего объема твердых бытовых отходов (ТБО) – удельные объемы образования ТБО на каждого жителя составляют 2,0–2,5 м³ в год. Суммарные объемы образования ТБО в городах-миллионниках, таким образом, превышают 2 млн м³/год, оказывая негативное воздействие на окружающую среду.

Для решения проблемы ТБО в ряде крупных городов внедряются технологии их сортировки с выделением вторичного сырья и его последующей переработкой. Однако данные технологии зачастую не отличаются высокой эффективностью и глубиной извлечения тех или иных компонентов, а рынок вторичных ресурсов в настоящее время, несмотря на его активное развитие, обеспечивает устойчивый спрос только на отдельные виды вторичного сырья. Это приводит к тому, что значительная часть вторичных ресурсов остается в составе отходов даже после их сортировки. При этом развитие системы обращения с отходами, нацеленное, в том числе, и на рациональное использование ресурсов, предполагает максимальное вовлечение отходов в хозяйственный оборот. Наиболее перспективными направлениями реализации этой задачи являются повышение степени извлечения вторичного сырья, расширение номенклатуры пере-

рабатываемых отходов и поиск возможных путей использования перерабатываемой части.

Хвосты сортировки ТБО представляют собой выходящий поток отходов линии сортировки ТБО, образующийся в результате извлечения из входящего потока всех интересующих видов вторичного сырья. В данный поток переходит 80–90 % всей массы сортируемых ТБО. Поэтому его использование и вовлечение в технологии получения полезных продуктов или энергии является актуальной задачей.

Для реализации подобных решений необходимо, прежде всего, определить состав и свойства данного потока, его ресурсный потенциал и степень опасности для окружающей среды. Исследования морфологического состава данного потока являются первым шагом, позволяющим сделать укрупненные оценки ресурсного потенциала хвостов сортировки.

Объект исследования. В качестве объекта настоящего исследования была выбрана линия ручной сортировки мусоросортировочного комплекса (МСК) г. Екатеринбурга, на котором с 1 декабря 2011 г. функционирует линия сортировки мощностью 100 тыс. т отходов в год. Схематичное изображение потоков материалов мусоросортировочной линии г. Екатеринбурга приведено на рис. 1.

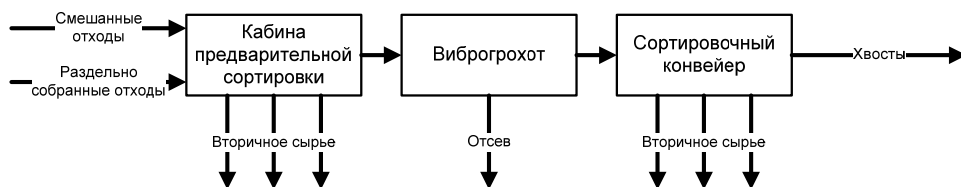


Рис. 1. Схема потоков мусоросортировочной линии г. Екатеринбурга

Расширенные исследования морфологического состава разных потоков материалов данного объекта были выполнены специалистами Пермского национального исследовательского политехнического университета в июле 2012 г. При методическом обосновании выполняемых исследований были определены необходимые показатели точности и достоверности исследований [1].

Результаты исследований морфологического состава хвостов сортировки (по укрупненным показателям) приведены на рис. 2.

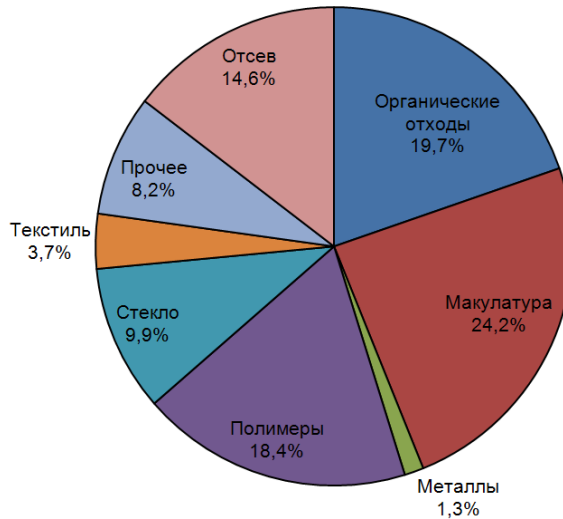


Рис. 2. Укрупненный морфологический состав хвостов сортировки

Из рис. 2 следует, что, несмотря на то, что хвосты сортировки по определению являются потоком с низким содержанием полезных компонентов, их ресурсный потенциал значителен. Только по совокупному содержанию 4 категорий материалов (макулатура, металлы, полимеры и стекло), наиболее значимых с точки зрения вторичного использования, можно судить о целесообразности дальнейшего использования данного потока. Для хвостов сортировки данный показатель превышает 50 %.

Оценка биологического и энергетического ресурсного потенциала. Для обоснования направления использования отходов с целью повышения эффективности санитарной очистки урбанизированных территорий зачастую используются укрупненные показатели ресурсного потенциала отходов:

- потенциал вторичного сырья;
- энергетический потенциал;
- биологический потенциал.

Если оценивать ресурсный потенциал как процент от общей массы отходов, который может быть использован для получения определенного продукта, то его можно рассчитать по следующей формуле:

$$P_{\text{рес}} = \sum_{i=1}^n (P_i),$$

где $P_{\text{рес}}$ – ресурсный потенциал (отношение суммарной массы извлекаемых компонентов к общей массе отходов, выраженное в процентах), мас. %; n – общее число извлекаемых компонентов; P_i – содержание i -го компонента в отходах, мас. %.

Определение потенциала вторичного сырья для хвостов сортировки может быть выполнено для оценки полноты извлечения вторичного сырья. При этом необходимо учитывать, что вторичные ресурсы, представляющие ценность на рынке вторичного сырья, из данного потока, вероятнее всего, уже изъяты с тем коэффициентом извлечения, который реально достижим при данных условиях. Оценка биологического и энергетического потенциалов представляет интерес с точки зрения подбора технологии для использования хвостов ручной сортировки ТБО.

Ориентировочная оценка биологического и энергетического потенциала хвостов, образующихся при работе мусоросортировочной линии, приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Ориентировочная оценка биологического
и энергетического потенциала хвостов (% по массе)**

Наименование	Морфологический состав	Потенциал вторичного сырья	Биологический потенциал	Энергетический потенциал
Пищевые отходы	19,21		19,21	
Растительные отходы	0,47		0,47	
Картон	4,72	4,72	4,72	4,72
Бумага	5,22	5,22	5,22	5,22
Прочая макулатура	14,23		14,23	14,23
Пленка	9,86	9,86		9,86
Бутылка	2,05	2,05		2,05
Прочая упаковка	0,97	0,97		0,97
Прочие полимеры	5,52			5,52
Стеклотара	7,74	7,74		
Прочее стекло	2,16			
Черные металлы	1,02	1,02		
Цветные металлы	0,28	0,28		
Текстиль	3,69	3,69		3,69
Дерево	0,82		0,82	0,82
Комбинированная упаковка	1,07			1,07
Электронные отходы	0,28			0,28
Прочие комбинированные материалы	0,00			0,00

Окончание табл. 1

Наименование	Морфологический состав	Потенциал вторичного сырья	Биологический потенциал	Энергетический потенциал
Элементы электропитания	0,04			
Ртутьсодержащие отходы	0,04			
Краски, растворители	0,04			0,04
Медицинские отходы	0,04			0,04
Прочие опасные отходы	0,04			
Строительные отходы	1,27			
Прочие инертные материалы	0,10			
Подгузники	2,85			2,85
Кожа, резина, обувь	1,24			1,24
Прочее	0,43			0,43
Отсев	14,60		14,60	
ИТОГО	100,00	35,55	59,27	53,03

Биологический потенциал, таким образом, оценивается величиной порядка 60 %, а энергетический – порядка 50 % всей массы хвостов. Данные величины свидетельствуют о перспективности применения биологических и термических методов переработки данного потока.

Оценка энергетического ресурса. Оценка биологического и энергетического потенциала отходов дает только общее представление о целесообразности применения того или иного метода переработки. Более полная оценка эффективности может быть сделана путем расчета содержания органического углерода, содержания биоразлагаемого углерода, метанового потенциала и энергетического ресурса.

Содержание органического углерода – отношение суммарной массы органического углерода, содержащегося в компонентах ТБО, к общей массе ТБО (рассчитывается на основании морфологического состава ТБО и содержание углерода в отдельных компонентах). Содержание биоразлагаемого углерода – отношение суммарной массы углерода, содержащегося в биоразлагаемых компонентах ТБО, к общей массе ТБО (рассчитывается на основании морфологического состава ТБО и содержание углерода в отдельных компонентах).

Метановый потенциал определяется как удельный выход биогаза, образующегося при полном разложении единицы массы отходов (рассчитывается на основании содержания биоразлагаемого углерода). Энергетический ресурс – это удельное выде-

ление энергии, образующейся при полном термическом разложении/окислении единицы массы отходов за вычетом энергии, необходимой для удаления (испарения) всей содержащейся влаги (рассчитывается на основании состава ТБО, влажности и теплоты сгорания отдельных компонентов).

Для оценки этих показателей на основании данных о морфологическом составе отходов необходимы сведения о влажности, зольности, теплоте сгорания и содержании органического углерода в каждом из определяемых компонентов. Аналитическое их определение требует достаточно затратных и трудоемких исследований, поэтому при решении практических задач для укрупненных оценок можно использовать справочные данные (табл. 2).

Таблица 2

**Значения некоторых характеристик
отдельных элементов [2–4]**

Наименование	Влажность, %	Зольность на сухую массу, %	Содержание органического углерода, мас. %	Теплота сгорания на сухую массу, МДж/кг
Пищевые отходы	70	2,0	15	12,50
Растительные отходы	60	3,8	17	14,70
Картон	15	3,0	40	17,50
Бумага	15	8,0	40	17,60
Прочая макулатура	20	3,0	40	20,10
Пленка	2	0,1	40	46,62
Бутылка	2	0,2	40	22,00
Прочая упаковка	2	2,0	40	41,63
Прочие полимеры	2	0,1	40	22,00
Стеклотара	2	98,5	0	0,15
Прочее стекло	2	100,0	0	0,15
Черные металлы	3	92,0	0	0,05
Цветные металлы	3	95,0	0	0,71
Текстиль	10	8,0	40	18,84
Дерево	20	2,0	30	16,45
Комбинированная упаковка	2	5,0	10	25,00
Электронные отходы	2	8,8	5	22,00
Прочие комбинированные материалы	2	8,0	0	12,00
Элементы электропитания	2	85,0	0	0,00
Ртутьсодержащие отходы	2	99,8	0	0,00
Краски, растворители	2	2,0	10	31,50

Окончание табл. 2

Наименование	Влажность, %	Зольность на сухую массу, %	Содержание органического углерода, мас. %	Теплота сгорания на сухую массу, МДж/кг
Медицинские отходы	2	2,0	20	25,00
Прочие опасные отходы	2	2,0	0	0,71
Строительные отходы	2	100,0	10	0,00
Прочие инертные материалы	2	100,0	0	0,00
Подгузники	30	5,0	20	12,00
Кожа, резина, обувь	2	1,8	10	33,50
Прочее	8	5,0	20	12,00
Отсев	30	50,0	20	7,00

Результаты расчета содержания органического углерода, содержания биоразлагаемого углерода, метанового потенциала и энергетического ресурса приведены в табл. 3.

Таблица 3

Ориентировочная оценка энергетического ресурса хвостов

Наименование	Содержание органического углерода, мас. %	Содержание биоразлагаемого углерода, мас. %	Метановый потенциал, м ³ /т	Энергетический ресурс, МДж/кг
Пищевые отходы	2,9	2,9	24,1	0,42
Растительные отходы	0,1	0,1	0,7	0,02
Картон	1,9	1,9	15,8	0,69
Бумага	2,1	2,1	17,5	0,76
Прочая макулатура	5,7	5,7	47,6	2,22
Пленка	3,9			4,50
Бутылка	0,8			0,44
Прочая упаковка	0,4			0,40
Прочие полимеры	2,2			1,19
Стеклотара	0,0			0,01
Прочее стекло	0,0			0,00
Черные металлы	0,0			0,00
Цветные металлы	0,0			0,00
Текстиль	1,5	0,7	6,2	0,62
Дерево	0,2	0,2	2,1	0,10
Комбинированная упаковка	0,1	0,1	0,9	0,26
Электронные отходы	0,0			0,06
Прочие комбинированные материалы	0,0			0,00
Элементы электропитания	0,0			0,00
Ртутьсодержащие отходы	0,0			0,00

Окончание табл. 3

Наименование	Содержание органического углерода, мас. %	Содержание биоразлагаемого углерода, мас. %	Метановый потенциал, м ³ /т	Энергетический ресурс, МДж/кг
Краски, растворители	0,0			0,01
Медицинские отходы	0,0			0,01
Прочие опасные отходы	0,0			0,00
Строительные отходы	0,1			0,00
Прочие инертные материалы	0,0			0,00
Подгузники	0,6	0,3	2,4	0,22
Кожа, резина, обувь	0,1	0,1	0,5	0,41
Прочее	0,1	0,0	0,4	0,05
Отсев	2,9	1,5	12,2	0,62
ИТОГО	25,67	15,57	130,3	13,00

Анализ результатов. Установлено, что содержание органического углерода в хвостах сортировки оценивается величиной порядка 25 %, из которых 15 % – биологически разлагаемый углерод. Данные значения свидетельствуют о высокой пригодности хвостов для применения методов их биологического разложения.

Метановый потенциал оценивается величиной порядка 130 м³, что соответствует справочным значениям данного показателя для захораниваемых отходов (80–240 м³/т).

Энергетический ресурс с учетом влажности для хвостов сортировки оценивается величиной порядка 13 МДж/кг. Из практики известно, что отходы, имеющие теплоту сгорания более 7–8 МДж/кг, способны к самостоятельному горению без применения дополнительного топлива (после предварительного розжига). Таким образом, хвосты сортировки мусоросортировочной линии г. Екатеринбурга можно отнести к материалам с достаточно высоким энергетическим ресурсом.

Выводы. Исследования морфологического состава хвостов ручной сортировки ТБО подтвердили, что данный поток отходов мусоросортировочного комплекса г. Екатеринбурга имеет значительный ресурсный, биологический и энергетический, потенциал. В связи с чем следует ожидать, что применение биотехнологий и методов термической утилизации окажется эффективным в отношении данного потока.

Библиографический список

1. Ильиных Г.В., Коротаяев В.Н., Слюсарь Н.Н. Современные методические подходы к анализу морфологического состава ТБО с целью оценки их ресурсного потенциала // Экология и промышленность России. – 2012. – № 7. – С. 40–45.
2. Вайсман Я.И., Вайсман О.Я., Максимова С.В. Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов: моногр. / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2003. – 232 с.
3. Вайсман Я.И., Глушанкова И.С. Условия образования и очистка фильтрационных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2003. – 168 с.
4. Коммунальная экология. Энциклопедический справочник / А.Н. Мирный, Л.С. Скворцов, Е.И. Пупырев, В.Е. Корецкий. – М.: Прима-Пресс-М, 2007. – 806 с.

Получено 13.10.2012

G. Plinykh, E. Ustyanzev, Y. Vaisman

**RESOURCE POTENTIAL OF RESIDUE FROM
MANUAL SORTING OF MUNICIPAL SOLID WASTE**

The article describes the technological scheme of manual waste sorting, residue flow formation is shown and importance of using their resource potential is given. On an example of sorting line of Yekaterinburg waste composition analysis were conducted, the results of this research were used to evaluate the material and energy resource potential of this stream.

Keywords: municipal solid waste, waste composition, waste composition analysis, resource potential of waste, manual sorting of solid waste, the material balance.

Ильиных Галина Викторовна (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: galinka14@yandex.ru).

Устьянцев Евгений Александрович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

Вайсман Яков Иосифович (Пермь, Россия) – д-р мед. наук, профессор, завкафедрой охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

Plinykh Galina (Perm, Russia) – lecturer, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol av., 29, e-mail: galinka14@yandex.ru).

Ustyanzev Evgeniy (Perm, Russia) – Graduate student, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol av., 29).

Vaisman Yakov (Perm, Russia) – Doctor of medical Sciences, Professor of Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol av., 29).