

УДК 504.064.47

**Г.В. Ильиных**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

**Т.Н. Сангаджиева**

Сибирский научно-исследовательский и проектный институт  
рационального природопользования

**АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ НОРМ НАКОПЛЕНИЯ,  
СОСТАВА И СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГЕНЕРАЛЬНЫХ СХЕМ  
САНИТАРНОЙ ОЧИСТКИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

Рассмотрена значимость натуральных исследований норм накопления твердых бытовых отходов от разных источников образования, их морфологического состава, плотности и других свойств при обосновании технологической схемы обращения с отходами. Показано, что сведения, полученные в ходе экспериментальных исследований, выполненных с необходимым уровнем точности и достоверности, являются наиболее предпочтительным источником исходных данных при разработке генеральных схем санитарной очистки урбанизированных территорий.

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, нормы накопления отходов, свойства отходов, морфологический состав отходов.

**Введение.** Генеральные схемы санитарной очистки населенных мест, являющиеся частью генерального плана территории, предполагают, в том числе, и проработку технологической схемы обращения с твердыми бытовыми отходами (ТБО), которая в свою очередь включает весь набор технологий, начиная от сбора и заканчивая захоронением отходов.

При разработке генеральных схем санитарной очистки урбанизированных территорий (регионов, крупных и малых населенных пунктов) стоит задача не только обеспечить экологически безопасное обращение с отходами, но и достичь этого с приемлемым уровнем затрат. Кроме того, объекты размещения отходов должны проектироваться на определенный объем отходов и степень опасности. Например при захоронении хвостов сортировки необходимо понимать, сколько этих отходов будет образовываться ежегодно. Необходимость определения количественных показателей технологической схемы обращения с от-

ходами, в том числе количества и производительности оборудования, приводят к потребности в достоверных и надежных сведениях о количестве, составе и свойствах исходных отходов.

Непостоянство морфологического состава отходов от одной территории к другой, его зависимость от множества факторов и изменения со временем не позволяют говорить о целесообразности применения к отходам разных населенных пунктов одной и той же технологии обращения с отходами. Так, технологическая линия сортировки отходов, которая для одних отходов может быть целесообразна и рентабельна (окупаться за счет продажи вторичного сырья), при применении для других отходов не позволит достичь ожидаемого процента отбора и приведет к непредвиденным затратам. Поэтому справочные или аналоговые данные о составе и свойствах отходов не могут быть использованы при выборе оптимальной технологии.

Выполнение натуральных исследований связано с определенными трудовыми, временными и финансовыми затратами, тем не менее является наиболее предпочтительным вариантом получения исходных данных при разработке генеральных схем санитарной очистки.

Результаты исследований морфологического состава ТБО могут быть использованы при построении схемы материальных потоков системы обращения с отходами, оценке ресурсного потенциала и показателей эффективности отдельных технологий обращения с отходами, на основании которых может быть выбрана оптимальная технологическая схема обращения с отходами.

**Порядок выполнения натуральных исследований.** Натурные исследования норм накопления твердых бытовых отходов проводятся в соответствии с «Рекомендациями по определению норм накопления твердых бытовых отходов для городов РСФСР», разработанными Академией жилищно-коммунального хозяйства им. К.Д. Панфилова и утвержденными Министерством ЖКХ РСФСР. Согласно данному документу можно определять нормы накопления отходов по массе (выражаются в килограммах на одного человека в год), по объему (выражаются в кубических метрах на одного человека в год) и их плотность (в килограммах на кубический метр).

Натурные исследования необходимо каждый сезон в течение года, по 7 дней без перерыва в каждом сезоне с последующим усреднением результатов. Для исследования определяют характерные источники образования отходов, выделяют экспериментальные контейнерные площадки, которые обслуживают 0,5–2,0 % населения. На данных площадках ежедневно исследуют объем и массу образующихся отходов и, пользуясь сведениями о проживающем на данной территории населении, рассчитывают удельное образование отходов.

Определение морфологического состава ТБО выполняется путем отбора необходимого количества представительных проб, их ручной сортировки с последующим взвешиванием отдельных компонентов и математической обработкой результатов. Имеющиеся на сегодняшний день руководящие документы по определению морфологического состава ТБО, в частности «Методика исследования свойств твердых отходов» (1970 г.) и ПНД Ф 16.3.55–08 «Твердые бытовые отходы. Определение морфологического состава гравиметрическим методом», обладают рядом существенных недостатков, которые затрудняют выполнение практических исследований. Опыт выполнения таких работ позволил разработать современные методические подходы к исследованиям морфологического состава ТБО, в соответствии с которыми [1]:

- выделено 12 категорий компонентов ТБО, 29 подкатегорий и 68 компонентов, актуальных для исследования ТБО в настоящее время;
- обоснованы минимальная масса и количество проб, обеспечивающие необходимую точность и достоверность результатов;
- определены возможные места и способы отбора проб, порядок их сортировки и регистрации результатов.

Кроме того, предложенные методические подходы позволяют определять морфологический состав отходов под разные цели, минимизируя временные и финансовые затраты с получением данных в необходимом объеме и качестве.

Сведения о нормах накопления отходов позволяют оценивать объем и массу образующихся отходов, а данные об их морфологическом составе позволяют оценивать ресурсный потенциал отходов и движение отдельных материальных потоков.

**Построение схемы материальных потоков системы обращения с отходами.** В целях управления системой обращения с отходами и повышения эффективности технологической схемы обращения с отходами для всех потоков отходов и материалов необходима следующая информация:

- материальный баланс всех потоков, выраженный в единицах массы или массовых процентах;
- сведения о морфологическом составе всех потоков, на основании которых могут быть определены основные показатели эффективности отдельных методов обращения с отходами.

Материальный баланс строится только для технологий, которые изменяют морфологический состав отходов, но не изменяют химическую структуру отдельных компонентов: отдельный сбор и сортировка отходов, в том числе как с целью получения отдельных видов вторичного сырья, так и вторичного топлива.

Для каждого процесса при этом справедлива формула

$$C_i^1 = k_i^{\text{транс}} \cdot C_i^0 ,$$

где  $C_i^1$  – содержание  $i$ -го компонента после обработки, мас.%;  $k_i^{\text{транс}}$  – коэффициент трансформации  $i$ -го компонента;  $C_i^0$  – содержание  $i$ -го компонента до обработки, мас.%.

Коэффициенты трансформации определяются эмпирически, исходя из опыта эксплуатации того или иного оборудования и зависят как от самого оборудования, так и от природы компонентов [2].

Данная формула позволяет рассчитать как долю потока в общей массе исходных отходов, так и состав образующихся потоков, на основании которых можно выполнить оценку ресурсного потенциала ТБО и показатели эффективности отдельных технологий и, следовательно, подобрать оптимальную технологию для каждого потока.

**Оценка ресурсного потенциала ТБО и эффективности отдельных технологий.** В качестве основных показателей, определяющих эффективность отдельных методов обращения с отходами и выводимых из морфологического состава коммунальных отходов, можно выделить:

1) при использовании технологий, направленных на извлечение вторичного сырья, в том числе при сортировке и раздельном сборе отходов:

- потенциал вторичного сырья – отношение суммарной массы компонентов ТБО, представляющих ценность как вторичное сырье к общей массе отходов (рассчитывается на основании морфологического состава ТБО);

- процент извлечения вторичного сырья – отношение суммарной массы компонентов ТБО, представляющих ценность как вторичное сырье к общей массе отходов с учетом коэффициентов извлечения конкретных материалов (рассчитывается на основании морфологического состава ТБО и эмпирических коэффициентов извлечения конкретных материалов);

2) при использовании методов, основанных на процессах биологического разложения материалов, в том числе при компостировании, сбраживании, а также при размещении отходов на полигонах и свалках, сопровождающемся образованием биогаза:

- биологический потенциал – отношение суммарной массы компонентов ТБО, способных разлагаться в результате биохимических трансформаций с образованием углекислого газа, биогаза и гумусоподобных соединений, к общей массе ТБО (рассчитывается на основании морфологического состава ТБО);

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

- метановый потенциал – удельный выход биогаза, образующегося при полном разложении единицы массы отходов (рассчитывается на основании содержания биоразлагаемого углерода);

3) при использовании методов термического разложения материалов, в том числе при сжигании, пиролизе, газификации:

- энергетический потенциал – отношение суммарной массы компонентов ТБО, способных разлагаться и/или окисляться в условиях высоких температур с выделением энергии (рассчитывается на основании морфологического состава ТБО);

- содержание органического углерода – отношение суммарной массы органического углерода, содержащегося в компонен-

тах ТБО, к общей массе ТБО (рассчитывается на основании морфологического состава ТБО и содержания углерода в отдельных компонентах);

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

Перечисленные показатели позволяют определить применимость той или иной технологии к каждому потоку отходов. Так, зная энергетический ресурс потока, можно оценить, насколько эффективным окажется его сжигание или использование в качестве вторичного топлива, а расчет метанового потенциала отходов может быть полезен при проектировании систем отвода биогаза при захоронении отходов.

*Пример использования результатов натурного определения морфологического состава отходов для обоснования системы обращения с отходами.* Современные технологические схемы обращения с отходами, направленные на максимальное извлечение и переработку вторичного сырья и снижение опасности оставшихся отходов, как правило, представляют собой сочетание различных методов механического разделения отходов и последующего биотехнологического или термического (энергетического) использования или обезвреживания непригодных для переработки в качестве вторичного сырья потоков.

Рассмотрим изменение ресурсного потенциала и показателей эффективности отдельных технологий на примере отходов города Перми, натурные исследования морфологического состава которых были выполнены в 2009 г. (табл. 1).

В качестве примера выполним оценку эффективности одной из наиболее перспективных технологических схем обращения с ТБО, которая постепенно находит свое применение в некоторых городах России (Москва, Миасс, Екатеринбург, Рязань и т.д.) и включает в себя ручную сортировку отходов с выделением трех потоков: вторичное сырье, отсеб и отходы сортировки (рисунок).

Таблица 1

**Укрупненный морфологический состав ТБО г. Перми**

№ п/п	Наименование компонента	Состав, % по массе
1	Пищевые отходы	8,9
2	Макулатура	22,8
3	Металлы	2,7
4	Пленки полимерные	5,7
5	ПЭТ бутылки	2,8
6	Твердые пластмассы	3,4
7	Прочие пластмассы	3,2
8	Стекло	17,7
9	Электрошрот	0,8
10	Текстиль	5,0
11	Кожа, резина, обувь	2,0
12	Подгузники одноразовые	1,9
13	Дерево	1,3
14	Прочее	9,4
15	Отсев, менее 50 мм	12,4
ИТОГО		100,0

Отходы ручной сортировки содержат большое количество потенциально полезных компонентов, поэтому получение из них вторичного топлива является хорошей альтернативой, однако в настоящее время на территории России она не реализована, а отходы сортировки и отсев повсеместно отправляются на захоронение.

Для данной технологии в первую очередь определяется материальный баланс и схема потоков, исходя из морфологического состава исходных ТБО и эмпирических коэффициентов извлечения вторичного сырья для каждого компонента. Результатом расчета являются данные о процентном распределении всех потоков по отношению к исходному и морфологический состав каждого. Затем для каждого потока в границах данной системы оценивается ресурсный потенциал и показатели эффективности отдельных технологий. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Проанализировав результаты расчета, можно заметить, что за счет внедрения предлагаемой технологической схемы извлечения вторичного сырья и получения вторичного топлива мож-

но снизить метановый потенциал потоков, отправляемых на захоронение, практически в 1,5 раза – 82,2 и 74,2 м<sup>3</sup>/кг у отсева и хвостов против 119,4 м<sup>3</sup>/кг у исходных отходов, а процент захораниваемых отходов снизить с 100 до 46 %. Это позволит не только снизить потребную мощность полигона, но и уменьшить поток выделяемого метана.

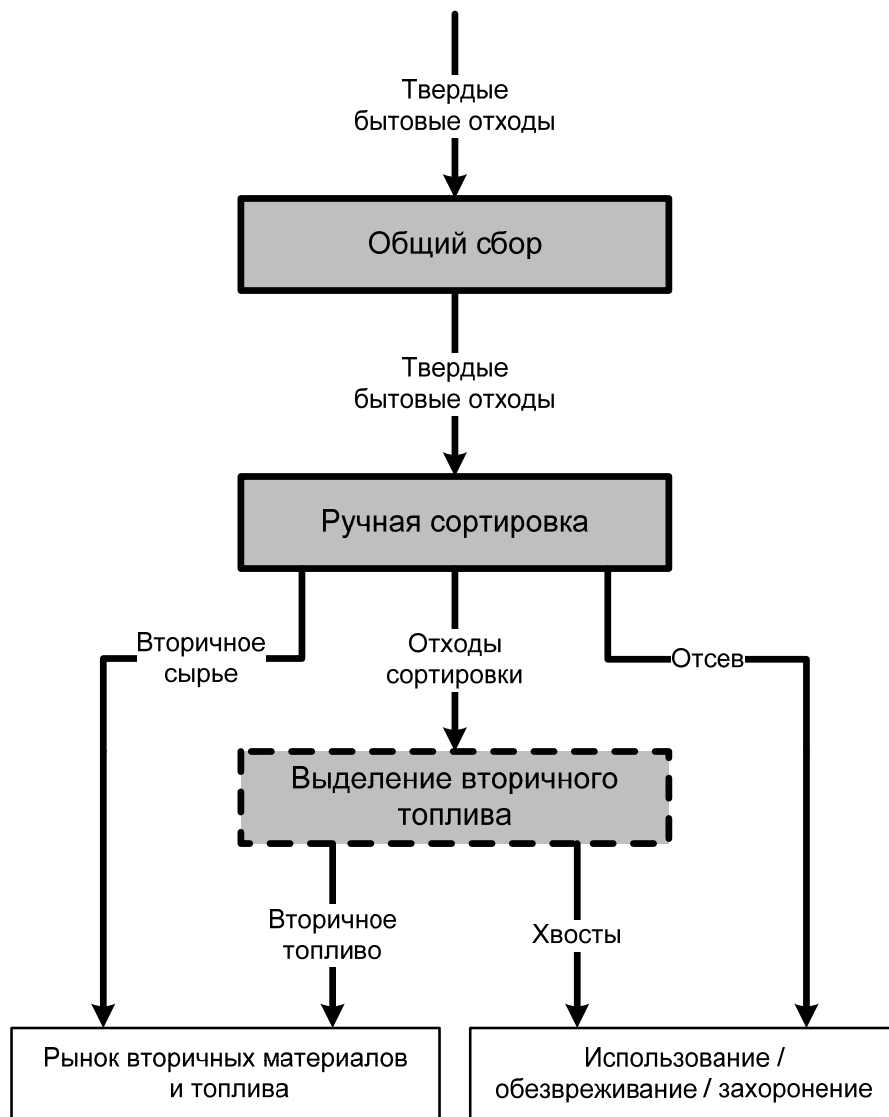


Рис. Перспективная технологическая схема обращения с отходами



Таблица 2

**Результаты расчета материального баланса  
для отходов г. Перми**

Характеристика	ТБО	Вторичное сырье	Отсев	Остатки сортировки	Вторичное топливо	Хвосты
Доля потока, % от исходного	100,0	23,1	18,4	58,5	31,4	27,1
Состав, %:						
макулатура	22,8	36,8	4,0	23,2	38,8	5,0
полимеры	14,2	16,1	4,9	16,4	25,2	6,1
стекло	17,7	38,4	9,6	12,1	0,0	26,1
металл	2,7	8,7	2,9	0,3	0,0	0,6
прочее	42,6	0,0	78,6	48,1	35,9	62,2
Свойства:						
влажность, %	16,1	6,9	28,0	16,1	11,2	21,7
зольность на сухую массу, %	30,1	47,9	47,7	17,5	4,1	33,0
зольность на рабочую массу, %	25,2	44,6	34,4	14,7	3,7	25,8
Показатели эффективности:						
потенциал вторичного сырья, %	56,5	100,0	15,0	52,4	68,7	33,5
биологический потенциал, %	45,4	36,8	81,0	37,6	43,0	31,3
энергетический потенциал, %	56,8	52,9	9,0	73,4	100,0	42,5
метановый потенциал, м <sup>3</sup> /кг	119,4	123,3	82,2	129,6	177,4	74,2
энергетический ресурс, МДж/кг	12,1	10,7	5,3	14,8	21,6	7,1

Изменения энергетического ресурса также показывают, что получаемое вторичное топливо в количестве до 31,4 % от массы исходных ТБО по своей калорийности (21,6 МДж/кг) не уступает некоторым традиционным видам топлива, например, бурому углю или древесине, несмотря на то, что исходный энергетический ресурс отходов (12,1 МДж/кг) относительно невысок.

В целом на основании проведенных расчетов можно выполнять оценку эффективности предложенной схемы обращения с отходами.

**Выводы.** Натурные исследования норм накопления, плотности, морфологического состава и других свойств твердых бытовых отходов, построение на их основе схемы материальных потоков, оценка ресурсного потенциала и эффективности отдельных технологий для каждого потока позволяют:

- 1) подобрать максимально эффективную технологическую схему;
- 2) оценить необходимую производительность оборудования;
- 3) оценить количество и качество вторичного сырья и топлива;
- 4) оценить возможные эмиссии при разложении отходов.

Таким образом, данный механизм может быть использован для повышения эффективности санитарной очистки урбанизированных территорий при разработке генеральных схем санитарной очистки.

### **Библиографический список**

1. Ильиных Г.В., Коротаяев В.Н., Слюсарь Н.Н. Методическое обеспечение экспериментальных исследований морфологического состава ТБО // Экология и промышленность России. – 2011. – № 5. – С. 52–55.
2. Ильиных Г.В., Коротаяев В.Н., Слюсарь Н.Н. Оптимизация технологической схемы сортировки ТБО для урбанизированных территорий // Экология и промышленность России. – 2010. – № 5. – С. 22–25.

Получено 22.06.2012

**G. Ilinykh, T. Sangadzhieva**

### **IMPORTANCE OF MUNICIPAL SOLID WASTE GENERATION RATE, COMPOSITION AND PROPERTIES RESEARCHES IN THE WASTE MANAGEMENT SYSTEM DEVELOPMENT**

The importance of field studies of waste generation rate from the various sources, of their morphological composition, density and other properties when choosing of waste management technological scheme is considered. It is shown that information obtained during the experimental studies carried out with the necessary level of accuracy and reliability are the most preferred source of raw data in the development of the General Scheme of urban areas cleaning.

**Keywords:** municipal solid waste, waste generation rate, waste density, morphological composition of waste.