

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ. ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ

УДК 504.064.47

Г.В. Ильиных

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ОЦЕНКА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ИСХОДЯ ИЗ ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА

Рассмотрены вопросы зависимости теплотехнических свойств твердых бытовых отходов от их морфологического состава. Проведен обзор расчетных методов оценки теплоты сгорания. На основании собственных исследований морфологического состава ТБО с расширенным списком определяемых компонентов в ряде городов России выполнены расчеты теплоты сгорания и сравнительная оценка полученных результатов.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, морфологический состав отходов, теплотехнические свойства отходов, теплотворная способность ТБО, теплота сгорания ТБО.

Введение. Развитие урбанизированных территорий тесно связано с использованием природных ресурсов и их преобразованием в энергию и материальные ценности. В результате общественного и личного потребления произведенных товаров образуются так называемые отходы потребления, в том числе твердые бытовые отходы (ТБО). Принципы устойчивого развития урбанизированных территорий в части обращения с отходами проявляются, в частности, в развитии методов использования ресурсного, материального и энергетического потенциала ТБО.

Планирование мероприятий по извлечению вторичного сырья и энергии из ТБО должно основываться на адекватных данных об их составе и свойствах, в связи чем становятся актуальными исследования количественных и качественных характеристик отходов. Однако ввиду значительных временных, трудовых

и финансовых затрат на выполнение возможного комплекса исследований, которые могут для этого понадобится, актуальным становится проведение анализа морфологического состава ТБО. Сведения о морфологическом составе ТБО (содержание отдельных компонентов в общей массе отходов), с одной стороны, являются наиболее общими сведениями, на основании которых может быть выполнена укрупненная оценка и прогноз большинства других показателей [1, 2], а с другой стороны, отличаются относительно низкими затратами и не требуют высокотехнологичного аналитического оборудования. Кроме того, для исследований морфологического состава ТБО отбираются и анализируются пробы массой в несколько десятков или сотен килограмм, что, в отличие от большинства лабораторных методов, исследующих навеску в несколько грамм, позволяет избежать существенных ошибок при пробоподготовке такого гетерогенного материала (по природе компонентов, их размерам и массе), как ТБО.

Исследования морфологического состава отходов могут быть положены в оценку теплотехнических свойств ТБО, которые необходимы для оценки их энергетического ресурса и применимости термических методов переработки и утилизации и возможности получения вторичного топлива. В этой связи возрастает актуальность адекватных методов расчета теплотехнических свойств ТБО исходя из их морфологического состава.

Методы. К основным теплотехническим свойствам твердых бытовых отходов относят влажность, зольность и теплотворную способность.

Вся содержащаяся в отходах влага делится на наружную и гигроскопическую. Под наружной влагой понимается влага, теряемая веществом при просушке его до воздушно-сухого состояния. За воздушно-сухие отходы условно принимаются отходы, не меняющие своего веса при комнатной температуре (около 15–20 °С) и нормальной относительной влажности воздуха (50 %). Под гигроскопической влагой понимается влага, теряемая воздушно-сухим веществом при просушке его при 105 °С (представляет собой водяной пар, прочно удерживаемый частицами).

Определение наружной влажности трудоемко, требует использования специальных сушильных шкафов, анализа больших проб продолжительное время (5–8 дней), поэтому обычно определяют общую влажность отходов. Общая влажность находится как отношение разницы между первоначальной массой

пробы отходов и массой сухого образца к первоначальной массе пробы отходов. Отношение наружной влажности к общей составляет обычно 0,8–0,9, в среднем 0,85 [3].

Влажность отходов зависит от многих факторов (влажность воздуха, атмосферные осадки, принятая система сбора и т.д.), в том числе от их морфологического состава – отдельные компоненты ТБО характеризуются высокой влажностью (60–70 % у пищевых отходов), в то время как содержанием влаги в других можно пренебречь (стекло, ПЭТ бутылка) [4]. В отсутствие экспериментальных данных, зная морфологический состав отходов и влажность отдельных компонентов, можно укрупненно оценить их общую влажность:

$$W = \sum_{i=1}^n \frac{W_i \cdot C_i}{100}, \quad (1)$$

где W – общая влажность ТБО, мас.%; W_i – влажность i -го компонента ТБО, мас.%; C_i – содержание i -го компонента ТБО в общей массе ТБО, мас.%.

Зольность обычно определяется как содержание в процентах негорючего (на безводную массу) остатка, который создается из минеральных примесей топлива при его полном сгорании. В лабораторных условиях зольность ТБО определяется гравиметрическим методом по разнице в массе исходных ТБО и зольного остатка при выжигании сухой пробы отходов.

В отсутствие экспериментальных данных, зная морфологический состав отходов и зольность отдельных компонентов, также можно рассчитать общую зольность ТБО:

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \cdot C_i}{100}, \quad (2)$$

где A – общая влажность ТБО, мас.%; A_i – влажность i -го компонента ТБО, мас.%; C_i – содержание i -го компонента ТБО в общей массе ТБО, мас.%.

Теплотворная способность определяется высшей теплотой сгорания (высшая теплотворная способность) – количеством теплоты, которое выделяется при полном сгорании вещества, включая теплоту конденсации водяных паров при охлаждении продуктов сгорания, или низшей теплотой сгорания (низшая теплотворная способность) – количеством теплоты, которое вы-

деляется при полном сгорании, без учета теплоты конденсации водяного пара.

Высшая Q^B и низшая Q^H теплоты сгорания (в кДж/кг) связаны соотношением

$$Q^H = Q^B - 25,1 \cdot (9H + W), \quad (3)$$

где $25,1(9H+W)$ – теплота, затраченная на испарение влаги W (кг/кг) вещества, и воды, образующейся при сгорании водорода H (кг/кг) горючего вещества, кДж/кг.

Экспериментальный метод определения высшей теплотворной способности основан на полном сжигании массы отходов в калориметрической бомбе. Низшую теплоту сгорания пересчитывают по уравнению (3). Однако при этом необходимо приготовление лабораторной пробы ТБО массой в несколько грамм, которая должна быть представительной по отношению к составу всех ТБО. В связи с этим разработаны различные подходы для оценки теплоты сгорания косвенно через влажность, зольность и теплоту сгорания отдельных компонентов.

При отсутствии данных о теплоте сгорания ТБО она может быть ориентировочно определена по формуле, предложенной АКХ [5]:

$$Q_p^H = 4600 - 4A_p - 51,85W_p, \quad (4)$$

где Q_p^H – низшая теплота сгорания ТБО на рабочую массу, кДж/кг; A_p – зольность ТБО на рабочую массу, мас.%; W_p – влажность ТБО, мас.%.

Формула (4) не учитывает морфологический состав (природу компонентов), а оперирует только влажностью и зольностью отходов.

На основании данных лабораторного анализа элементного состава отходов теплота сгорания может быть рассчитана по формуле Менделеева [6]:

$$Q_p^H = 4,18 \cdot (81C_p + 300H_p - 26(O_p - S_p) - 6(9H_p - W_p)), \quad (5)$$

где Q_p^H – низшая теплота сгорания ТБО на рабочую массу, кДж/кг; C_p – общее содержание углерода, мас.%; H_p – общее содержание водорода, мас.%; O_p – общее содержание кислорода,

мас.%; S_p – общее содержание серы, мас.%; W_p – общая влажность, мас.%.

В отсутствие данных об элементном составе ТБО используются данные по брутто-формулам отдельных компонентов [7] (табл. 1).

Таблица 1

**Брутто-формула и содержание отдельных элементов
в составе ТБО**

Наименование компонента ТБО	Брутто-формула	Молярная масса	Элементный состав на сухую беззольную массу, мас.%				
			C	H	O	N	S
Бумага	C580,6H952,3O440,8N3,49S	15051,9	46,3	6,3	46,9	0,3	0,2
Дерево	C1321H1904O855,6N4,6S	31542,0	50,3	6,0	43,4	0,2	0,1
Текстиль	C978,8H1396O416,8N70,2S	20825,2	56,4	6,7	32,0	4,7	0,2
Кожа	C404,4H634,9O58,1N57,2S	7202,1	66,7	8,8	12,9	11,1	0,4
Резина	C454,9H69,4NS	5574,2	97,9	1,2	0,0	0,3	0,6
Пластмасса	C3,5H5,0OS	63,075	66,7	7,9	25,4	0,0	0,0
Пищевые отходы	C320,3H570,9O188,4N14,9S	7606,5	50,5	6,7	39,6	2,7	0,4

Специалистами технического университета Илдииз г. Истанбул (Турция) на основании результатов исследований более ста образцов ТБО с использованием регрессионного анализа полученных результатов выведена следующая формула [8]:

$$Q_p^B = \left(1 - \frac{W}{100}\right) (0,327C + 1,241H - 0,089O - 0,26N + 0,074S), \quad (6)$$

где Q_p^B – высшая теплота сгорания ТБО на рабочую массу, МДж/кг; W – общая влажность отходов на рабочую массу, мас.%; C – содержание углерода на сухую массу, мас.%; H – содержание водорода на сухую массу, мас.%; O – содержание кислорода на сухую массу, мас.%; N – содержание азота на сухую массу, мас.%; S – содержание серы на сухую массу, мас.%.

ОАО «ВТИ» была разработана методика экспериментального определения основных теплотехнических характеристик ТБО [9]. Суть методики заключается в выделении компонентных групп (бумага, текстиль, пластмасса, металл, другие неорганические материалы и пищевые отходы) и определении их массовой доли в общем потоке. Затем в лабораторных условиях измеряется влажность и зольность на сухую массу каждой группы,

рассчитываются интегральные значения удельной теплоты сгорания для каждой группы. Экспериментально для отходов г. Москвы были получены следующие значения низшей удельной теплоты сгорания на сухую беззольную массу, МДж/кг: бумага – 16, текстиль – 22,6, полимеры – 27,4, пищевые отходы 18,2, отсев – 20,1. На основании массовой доли каждой компонентной группы рассчитывается теплота сгорания ТБО в целом.

Специалистами технологического университета г. Астурия (Испания) предложена формула для расчета низшей теплоты сгорания бытовых отходов [10]:

$$Q_p^H = 4,186 \left((95F_{\text{пол}} + 40F_{\text{орг}} + 40F_{\text{мак}} + 44F_{\text{дер,тек}}) \cdot \left(\frac{100 - W}{100} \right) - 14W \right), \quad (7)$$

где Q_p^H – низшая теплота сгорания ТБО на рабочую массу, кДж/кг; $F_{\text{пол}}$ – общее содержание полимеров, мас.%; $F_{\text{орг}}$ – общее содержание органических отходов (пищевых и растительных), мас.%; $F_{\text{мак}}$ – общее содержание макулатуры, мас.%; $F_{\text{дер,тек}}$ – общее содержание дерева и текстиля, мас.%; W – общая влажность отходов, мас.%.

Данные формулы (7) выведены по результатам обширных экспериментальных исследований, а расчеты, выполняемые с ее использованием, хорошо согласуются с данными анализа.

В рамках собственных исследований теплота сгорания отходов задавалась исходя из натуральных данных о морфологическом составе ТБО:

$$Q_p^H = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{pi}^H \cdot C_i}{100}, \quad (8)$$

где Q_p^H – низшая теплота сгорания ТБО на рабочую массу, кДж/кг; Q_{pi}^H – теплота сгорания на рабочую массу i -го компонента ТБО кДж/кг; C_i – содержание i -го компонента ТБО в общей массе ТБО, мас.%.

Для расчета теплоты сгорания отдельного компонента использовались справочные данные (табл. 2) [4].

Таблица 2

Справочные значения некоторых характеристик отдельных элементов

Наименование	Влажность, %	Зольность на сухую массу, %	Теплота сгорания на сухую массу, МДж/кг
Пищевые отходы	70	2,0	12,50
Растительные отходы	60	3,8	14,70
Картон	15	3,0	17,50
Бумага	15	8,0	17,60
Прочая макулатура	20	3,0	20,10
Пленка	2	0,1	46,62
Бутылка	2	0,2	22,00
Прочая упаковка	2	2,0	41,63
Прочие полимеры	2	0,1	22,00
Стеклотара	2	98,5	0,15
Прочее стекло	2	100,0	0,15
Черные металлы	3	92,0	0,05
Цветные металлы	3	95,0	0,71
Текстиль	10	8,0	18,84
Дерево	20	2,0	16,45
Комбинированная упаковка	2	5,0	25,00
Электронные отходы	2	8,8	22,00
Прочие комбинированные материалы	2	8,0	12,00
Элементы электропитания	2	85,0	0,00
Ртутьсодержащие отходы	2	99,8	0,00
Краски, растворители	2	2,0	31,50
Медицинские отходы	2	2,0	25,00
Прочие опасные отходы	2	2,0	0,71
Строительные отходы	2	100,0	0,00
Прочие инертные материалы	2	100,0	0,00
Подгузники	30	5,0	12,00
Кожа, резина, обувь	2	1,8	33,50
Прочее	8	5,0	12,00
Отсев	30	50,0	7,00

Расширенный список компонентов состава ТБО позволяет более точно задать теплоту сгорания для каждого компонента.

Результаты и обсуждение. Рассмотрим результаты оценки теплоты сгорания ТБО по разным методикам, опираясь на результаты выполненных исследований морфологического состава отходов (там, где это возможно) и справочных данных.

В качестве примера использованы данные о морфологическом составе ТБО г. Перми (табл. 3). Кроме того, в табл. 3 при-

ведены расчетные значения влажности, зольности и теплоты сгорания отходов. Расчетная зольность на рабочую массу – 25,2 %.

Таблица 3

Морфологический состав ТБО г. Перми и расчетные значения их влажности и зольности

Наименование	Морфологический состав, %	Влажность, %	Зольность на сухую массу, %	Теплота сгорания, МДж/кг
Пищевые отходы	7,0	4,90	0,14	0,15
Растительные отходы	1,9	1,14	0,07	0,09
Картон	8,6	1,29	0,26	1,25
Бумага	10,5	1,58	0,84	1,54
Прочая макулатура	3,7	0,74	0,11	0,58
Пленка	5,7	0,11	0,01	2,60
Бутылка	4,0	0,08	0,01	0,86
Прочая упаковка	2,3	0,05	0,05	0,94
Прочие полимеры	2,2	0,04	0,00	0,47
Стеклотара	17,7	0,35	17,43	0,02
Прочее стекло	0,0	0,00	0,00	0,00
Черные металлы	2,2	0,07	2,02	0,00
Цветные металлы	0,5	0,02	0,48	0,00
Текстиль	5,0	0,50	0,40	0,84
Дерево	1,3	0,26	0,03	0,17
Комбинированная упаковка	1,0	0,02	0,05	0,24
Электронные отходы	0,8	0,02	0,07	0,17
Прочие комбинированные материалы	0,0	0,00	0,00	0,00
Элементы электропитания	0,0	0,00	0,00	0,00
Ртутьсодержащие отходы	0,0	0,00	0,00	0,00
Краски, растворители	0,1	0,00	0,00	0,03
Медицинские отходы	0,1	0,00	0,00	0,02
Прочие опасные отходы	0,1	0,00	0,00	0,00
Строительные отходы	1,2	0,02	1,20	0,00
Прочие инертные материалы	0,2	0,00	0,20	0,00
Подгузники	1,9	0,57	0,10	0,15
Кожа, резина, обувь	2,0	0,04	0,04	0,66
Прочее	7,6	0,61	0,38	0,83
Отсев	12,4	3,72	6,20	0,52
ИТОГО	100,0	16,10	30,10	12,12

Теплота сгорания, рассчитанная по формуле, предложенной АКХ, составляет 3,66 МДж/кг.

Результаты расчета теплоты сгорания по формуле Менделеева приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты расчета теплоты сгорания ТБО
по формуле Менделеева**

Наименование компонента ТБО	Содержание*, мас.%	Элементный состав на рабочую массу, мас.%					Теплота сгорания на рабочую массу, кДж/кг	
		С	Н	О	N	S	компонента	ТБО
Бумага	22,8	37,4	5,1	37,9	0,2	0,2	14196	3237
Дерево	1,3	39,4	4,7	34,0	0,2	0,1	14904	194
Текстиль	5,0	46,7	5,5	26,5	3,9	0,2	19059	953
Кожа	0,7	64,1	8,5	12,4	10,7	0,4	29479	206
Резина	0,7	94,0	1,2	0,0	0,3	0,6	33487	234
Пластмасса	14,2	64,1	7,6	24,4	0,0	0,0	27244	3869
Пищевые отходы	8,9	14,7	1,9	11,5	0,8	0,1	6145	547
ИТОГО	53,6							9240

* Собственные данные.

С учетом содержания углерода, водорода, кислорода, азота и серы в отдельных компонентах и содержания компонентов в ТБО получены следующие значения содержания в ТБО (на сухую массу): углерода 27,9 %, водорода – 3,5 %, кислорода – 19,0 %, азота – 0,6 %, серы – 0,1 %. При общей влажности отходов 16,1 %, расчетное значение высшей теплоты сгорания по формуле (6) – 11,6 МДж/кг. Низшая теплота сгорания, пересчитанная по формуле (3), меньше высшей на 12 кДж/кг, и округленно составляет 11,6 МДж/кг.

Расчет теплоты сгорания по методике А.Н. Тугова (ОАО «ВТИ») приведен в табл. 5.

Таблица 5

Расчет теплоты сгорания по методике А.Н. Тугова (ОАО «ВТИ»)

Наименование	Содержание*, мас.%	Теплота сгорания на сухую беззольную массу, МДж/кг [8]	Теплота сгорания на рабочую массу, МДж/кг	
			компонента**	ТБО
Бумага	22,8	16,0	12,92	2,95
Полимеры	14,2	27,4	26,31	3,74
Текстиль	5,0	22,6	18,71	0,94
Пищевые отходы	8,9	18,2	5,30	0,47
Отсев	12,4	20,1	7,04	0,87
ИТОГО	63,3			8,96

* Собственные данные.

** Расчет по справочным данным о влажности и зольности отдельных компонентов.

Расчет по формуле, предложенной специалистами технологического университета г. Астурия (Испания), дает значение теплоты сгорания ТБО на уровне 9,24 МДж/кг.

Выводы. По результатам выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Расчеты по формуле, предложенной АКХ в 1987 г., дают значительно заниженные результаты (3,7 МДж/кг), что можно объяснить тем, что содержание отдельных компонентов не учитывается при расчетах, а состав ТБО существенно изменился за прошедшие 25 лет: содержание высококалорийных компонентов, таких как макулатура и полимеры, значительно увеличилось.

2. Расчеты по формуле Менделеева, методике А.Н. Тугова (ОАО «ВТИ») и формуле, описанной в статье испанских ученых, дают схожие результаты: 9,24; 8,96 и 9,24 МДж/кг соответственно.

3. Расчеты по формуле, предложенной специалистами технического университета Илдиз г. Истанбул, дают величину низшей теплоты сгорания на уровне 11,6 МДж/кг.

4. Результаты, полученные на основании справочных данных о свойствах расширенного перечня компонентов, дают более высокое значение теплоты сгорания (12,1 МДж/кг), что может быть объяснено завышенными значениями теплоты сгорания отдельных компонентов и заниженными значениями их влажности. С другой стороны, в данных расчетах, помимо «традиционных» калорийных фракций (макулатура, полимеры и т.п.), учитывается вклад менее значимых по калорийности компонентов (комбинированная упаковка типа «тетрапак», подгузники и т.п.), которые однако в общей сложности дают дополнительное увеличение общей калорийности ТБО на 10–15 %.

Таким образом, оценка теплотехнических свойств ТБО расчетным способом может быть выполнена разными методами, которые могут дать отличающиеся результаты. При этом необходимо критически оценивать возможные ошибки и погрешности и причины их возникновения с тем, чтобы выполняемые расчеты были достаточно достоверны. Выполненные расчеты подтверждают, что при оценке теплоты сгорания ключевыми исходными данными являются сведения о содержании отдельных компонентов, в том числе не только значительных по содержанию и калорийности, но других, содержащихся в относительно меньшем количестве.

Библиографический список

1. Слюсарь Н.Н., Ильиных Г.В. Обоснование замены углеводородных энергоносителей продуктами переработки твердых бытовых отходов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – № 11. – С. 24–29.
2. Ильиных Г.В., Сангаджиева Т.Н. Актуальность исследований норм накопления, состава и свойств твердых бытовых отходов при разработке генеральных схем санитарной очистки населенных пунктов // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Урбанистика. – 2012. – № 3. – С. 39–48.
3. Методика исследования свойств твердых отходов / Акад. коммун. хоз-ва им. К.Д. Памфилова. – М.: Стройиздат, 1970. – 46 с.
4. Ильиных Г.В., Устьянцев Е.А., Вайсман Я.И. Ресурсный потенциал хвостов ручной сортировки твердых бытовых отходов // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Урбанистика. – 2012. – № 4. – С. 143–152.
5. Рекомендации по проектированию и эксплуатации заводов по сжиганию твердых бытовых отходов / Акад. коммун. хоз-ва им. К.Д. Памфилова. – М., 1987. – 61 с.
6. Коммунальная экология: энцикл. справ. / А.Н. Мирный [и др.]. – М.: Прима-Пресс-М, 2007. – 808 с.
7. Армишева Г.Т., Коротаев В.Н., Кривошеин В.Г. Снижение экологической нагрузки при обращении с твердыми бытовыми отходами за счет использования горючих компонентов // Научные исследования и инновации. Научный журнал. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – Т. 4, № 3. – С. 3–8.
8. Akkaya E., Demir A. Energy content estimation of municipal solid waste by multiply regression analysis // 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS-09) – Karabuk, Turkey, 2009. – P. 24–26.
9. Тугов А.Н. Исследование процессов и технологий энергетической утилизации бытовых отходов для разработки отечественной ТЭС на ТБО: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / ОАО «ВТИ». – М., 2012. – 42 с.
10. Castrillon L., Fernandez-Nava Y., Gonzalez A., Maranon E. A case study of the characteristics of municipal solid waste in Asturias (Spain): influence of season and source // Waste Manag. Res. – 2013. – № 31. – P. 428. – URL: <http://wmr.sagepub.com>.

References

1. Slyusar N.N., Ilinykh G.V. Obosnovanie zameny uglevodorodnykh energonositeley produktami pererabotki tverdykh bytovykh otkhodov [Substantiation of municipal solid waste being substitution of hydrocarbon fuels]. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*, 2010, no. 11, pp. 24–29.
2. Ilinykh G.V., Sangadzhiyeva T.N. Aktualnost issledovaniy norm nakopleniya, sostava i svoystv tverdykh bytovykh otkhodov pri razrabotke generalnykh skhem sanitarnoy ochistki naseleennykh punktov [The relevance of composition and properties of municipal solid waste and its generation per capita in the development of settlements sanitation master plans]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2012, no. 3, pp. 39–48.

3. Metodika issledovaniya svoystv tverdykh otbrosov [Technique to study the properties of solid waste]. Akademiya kommunalnogo khozyaystva im. K.D. Pamfilova. Moscow, 1970. 46 p.

4. Ilinykh G.V., Ustyantsev E.A., Vaysman Ya.I. Resursnyy potentsial khvostov ruchnoy sortirovki tverdykh bytovykh otkhodov [The resource potential of the rest of municipal solid waste manual sorting]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2012, no. 4, pp. 143–152.

5. Rekomendatsii po proektirovaniyu i ekspluatatsii zavodov po szhiganiyu tverdykh bytovykh otkhodov [Recommendations for the design and operation of plants for municipal solid waste incineration]. Otdel nauchno-tekhnicheskoy informatsii, Akademiya kommunalnogo khozyaystva im. K.D. Pamfilova. Moscow, 1987. 61 p.

6. Mirnyy A.N. [et al.]. Kommunalnaya ekologiya. Entsiklopedicheskiy spravochnik [Communal ecology. Encyclopedic reference book]. Moscow: Prima-Press-M, 2007. 808 p.

7. Armisheva G.T., Korotaev V.N., Krivoshein V.G. Snizhenie ekologicheskoy nagruzki pri obrashchenii s tverdymi bytovymi otkhodami za schet ispolzovaniya goryuchikh komponentov [Reducing the environmental impact when handling municipal solid waste by using of combustible components]. *Nauchnye issledovaniya i innovatsii*. Perm: Perm. gos. tekhn. univ. 2010, vol. 4, no. 3, pp. 3–8.

8. Akkaya E., Demir A. Energy content estimation of municipal solid waste by multiply regression analysis. *5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09)*. Karabuk, Turkey, 2009.

9. Tugov A.N. Issledovanie protsessov i tekhnologiy energeticheskoy utilizatsii bytovykh otkhodov dlya razrabotki otechestvennoy TES na TBO [Investigation of the processes and technologies of household waste energy disposal for the development of domestic thermal power plants, using MSW]: avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk. Moscow, 2012. 42 p.

10. Castrillon L., Fernandez-Nava Y., Gonzalez A., Maranon E. A case study of the characteristics of municipal solid waste in Asturias (Spain): influence of season and source. *Waste Manag. Res.*, 2013, no. 31, p. 428, available at: <http://wmr.sagepub.com>.

Получено 04.07.13

G. Ilinykh

EVALUATION OF MSW THERMOTECHNICAL PROPERTIES BASED ON ITS COMPOSITION

Dependence of municipal solid waste thermotechnical properties is considered in the paper and an overview of assessment methods to find out the waste combustion heat is given. Based on own MSW composition researches with an expanded list of components defined in a number of cities in Russia combustion heat have been calculated and a comparative evaluation of the results are made.

Keywords: municipal solid waste, waste composition, thermotechnical properties of waste, combustion heat of MSW.

Ильиных Галина Викторовна (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Охраны окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: galina.perm.59@yandex.ru).

Ilinykh Galina Victorovna (Perm, Russia) – Senior lecturer of Department "Environmental protection", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: galina.perm.59@yandex.ru).