

портативный компьютерный термограф ИР-ТИС-2000:

- спектральный диапазон – (3 – 5) мкм;
  - диапазон измерений: – 10°C – 1200°C;
  - точность измерения: ±1% или 1°C;
  - рабочие температуры: - 20°C - +50°C
- тепловизионная камера типа IR SnapShot модель 525:
- спектральный диапазон – (8 – 14) мкм;
  - диапазон контролируемых температур -10 – +460°C.
  - точность измерения +1% или 3°C;
  - рабочие температуры: 0°C – +40°C.

*Литература*

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. – М: Мир, 1988 – 416 с.
2. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением: Справочник. – М: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Жуков А.Г., Горюнов А.Н., Кальфа А.А. Тепловизионные приборы и их применение. – М: Радио и связь, 1983. – 167 с.
4. Ллойд Дж. Системы тепловидения. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
5. Драгун В.Л., Филатов С.А. Тепловизионные исследования в исследованиях тепловых процессов. – Минск: Наука и техника, 1989. – 175 с.

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

*Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Пальченко Г.И., Рабинович О.С., Акулич А.В., Корбан В.В.  
Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси*

Крупными нетрадиционными постоянно возобновляемыми ресурсами энергетики являются коммунальные и производственные отходы, которые содержат в значительных количествах органические компоненты и сопровождают хозяйственную деятельность человека. Интенсивное накопление таких отходов, измеряемое только по твердым бытовым отходам (ТБО) от 250 до 700 кг на одного человека в год и проблема их эффективной утилизации является сложной многоплановой задачей, решение которой связано с необходимостью обеспечения нормальной жизнедеятельности населения, экологии, энерго- и ресурсосбережения [1-12].

В Беларуси ежегодно образуется более 3 миллионов тонн твердых коммунальных отходов. Объем их образования имеет устойчивую тенденцию к росту на 6-10% ежегодно. Показатель удельного образования ТБО составляет около 0,92 кг/чел/день.

ТБО имеют разный морфологический состав, изменяющийся в зависимости от климатических зон, уровня жизни населения, времени года и др. Их основными компонентами (в % по массе) являются: бумага и картон (20-37%), пищевые отходы (20-50%), текстиль (2-8%), пластик (4-15%), металл (1-9%), стекло (1-16%) и др. В среднем доля органических компонентов на сухую массу отходов составляет от 68 до 80%. Имеется тенденция

к увеличению содержания пластмасс, бумаги и картона, понижению доли пищевых отходов, что приводит к повышению теплоты сгорания ТБО.

Известны следующие методы ликвидации ТБО:

1. Утилизация (рецикл) – повторное использование отдельных видов отходов по известным технологиям переработки вторичного сырья в силу сложности организации его сортировки имеет ограниченное распространение.
  2. Захоронение. Наиболее массовый и традиционный в настоящее время способ решения проблемы – вывоз на полигоны (свалки), представляющие собой достаточно сложные инженерные сооружения, кардинально не решает проблемы.
  3. Термическое уничтожение, теплоутилизация. Органические компоненты отходов имеют достаточно высокую теплотворную способность, которая приближается к низкокалорийным углям (табл. 1). Так, потенциальная энергия, заключенная в образующихся на территории Беларуси ТБО, оценивается в 470 тыс.т у.т. в год (табл. 2).
- Методы энергетического использования ТБО предполагают: 1) прямое сжигание, 2) пиролиз/газификация с последующим сжиганием образующегося синтез-газа, 3) получение биогаза (с содержанием до 60% метана) на полигонах захоронения путем компостирования и его сжигание. Экономическая эффективность различных технологий утилизации ТБО представлена в табл. 3.

Таблица 1  
Сравнительная характеристика твердых бытовых отходов

Топливо	Влажность, %	Зольность, %	Низшая теплота сгорания, кДж/кг
Бурый уголь	12-60	12-45	5600-6400
Древесина	25-55	0,5	9600
Торф	35-60	3,5-20	8000-14000
Сланцы	5-25	44-64	5040-9200
ТБО	20-58	20-55	3200-6400

Таблица 2  
Энергетическая эффективность альтернативных топлив (тонн условного топлива на 1 тонну продукта)

Бурый уголь	1.04
Углеотвалы	0.1-0.4
Торф	0.7-0.8
Древесина	0.67
Маслоотходы и нефтешламы	1.3-1.4
Автомобильные покрышки	1.13
ТБО	0.15-0.25

Таблица 3  
Экономическая эффективность различных технологий переработки ТБО

Показатели	Технологии					
	сжигание	компостирование	сортировка + сжигание	сортировка + компостирование	комплексная переработка	сортировка + компактирование
Удельные капитальные вложения (на 1 т ТБО), долл./т	280	90	330	100	240	44
Удельные эксплуатационные затраты (на 1 т ТБО), долл./т	9,6	10	12,8	8,7	13,5	3,5
Неутилизируемая фракция (подлежит захоронению), %	30	30	15	55	8	60
Удельные затраты на захоронение неутилизируемой фракции, долл./т	9	9	4,5	16,5	2,4	18
Общие удельные затраты, долл./т	46,6	28	50,3	35,2	39,9	25,9
Суммарная реализация продукции из 1 т ТБО, долл./т	23,7	9,2	33,9	18,7	30,2	34
Экономическая эффективность технологий, долл./т	-22,9	-18,8	-16,4	-16,5	-9,7	8,1

Следует отметить наблюдаемую в мировой практике тенденцию постепенного перехода от полигонного захоронения ТБО к их промышленной переработке на основе применения интенсивных технологий. При этом обеспечиваются обезвреживание, утилизация и ликвидация отходов, одновременно происходит санитарная очистка с наименьшими затратами и максимально возможной выгодой, без негативного экологического влияния. Наиболее активная промышленная переработка отходов реализуется в странах с высокой плотностью населения и высоким уровнем технологий. Так в качестве топлива в Дании и Швейцарии используется около 80 % от общего объема образующихся отходов, в Японии – 85%, Франции – 65%, Германии – 60%, в России – менее 5%.

В ряде стран законодательно установлена обязательность выработки энергии при сжигании отходов. Активно ведется поиск наиболее экологически безопасных и экономически выгодных методов использования теплотворной способности горючих компонентов отходов. Это не удивительно, например, при прямом сжигании даже по малоперспективным технологиям 1000 кг ТБО образуется такое же количество тепловой энергии, как при сжигании 250 кг мазута.

Сжигание ТБО представляет собой сложный высокотехнологичный процесс с использованием различных методов сжигания: на колосниковых решетках, в кипящем слое, во вращающихся барабанных печах и др. (табл. 4).

Таблица 4  
Современные термические технологии переработки ТБО

№	Вид термического процесса	Основные технологические характеристики
1	«Низкотемпературные» термические процессы (при температуре ниже температуры плавления шлака)	1.Слоевое сжигание с принудительным перемешиванием материала; 2.Сжигание в кипящем слое; 3.Сжигание - газификация в плотном слое кускового материала без принудительного перемешивания.
2	«Высокотемпературные» термические процессы (при температурах выше температуры плавления шлака)	2.1. Сжигание в слое шлакового расплава; 2.2. Сжигание в плотном слое кускового материала и шлаковом расплаве с принудительным перемешиванием; 2.3. Комбинированные процессы (пиролиз-сжигание, пиролиз-газификация и др.).

Важным аспектом технологии сжигания является устойчивость работы энергетического оборудования в широком интервале влажности, морфологи-

ческого состава и теплотворной способности ТБО. Только в этом случае одновременно обеспечивается как обезвреживание отходов, так и используется их энергетический ресурс. Снижаются расходы на их складирование на полигонах. Вместе с тем, этот метод требует особой организации процессов горения и очистки дымовых газов, т.к. в противном случае, особенно при прямом неквалифицированном сжигании, происходит образование и выброс в атмосферу значительных количеств сажи, монооксида углерода, соединений хлора, оксидов серы и азота, а также таких супертоксикантов, как диоксины и полиароматические углеводороды.

Для ликвидации этого недостатка технология непосредственного сжигания отходов предполагает наличие дополнительных устройств, которые обеспечивают дожиг горючих компонентов в дымовых газах, дооснащение системами промывки, фильтрации с активным углем и т.д. Очень важной составляющей технологического процесса при сжигании ТБО является газоочистка, стоимость которой может составлять более чем 60% от стоимости мусоросжигательного завода. Не менее жесткие требования предъявляются к золошлаковым остаткам от сжигания отходов, складирование которых на полигонах тщательно контролируется.

Альтернативой процесса прямого сжигания горючих отходов является термохимическая технология, существенно повышающая эффективность горения и предусматривающая их предварительное термическое разложение в бескислородной атмосфере (пиролиз) и газификацию, после чего в образовавшейся концентрированной парогазовой смеси (пирогаз) в режиме управляемого дожига происходит перевод токсичных веществ в менее опасные.

Для достижения полного сгорания основных вредных компонентов пирогаза необходимо обеспечить следующие условия: 1) избыток окислителя ( $\alpha > 1,2$ ); 2) интенсивное смешивание парогазовой смеси с горячим окислителем; 3) высокая температура процесса горения ( $T = 1250-1400^\circ\text{C}$ ); 4) достаточно продолжительное время нахождения продуктов в зоне высоких температур (от 3 до 5 сек). При соблюдении этих условий 99 % диоксинов разлагается в нетоксичные вещества.

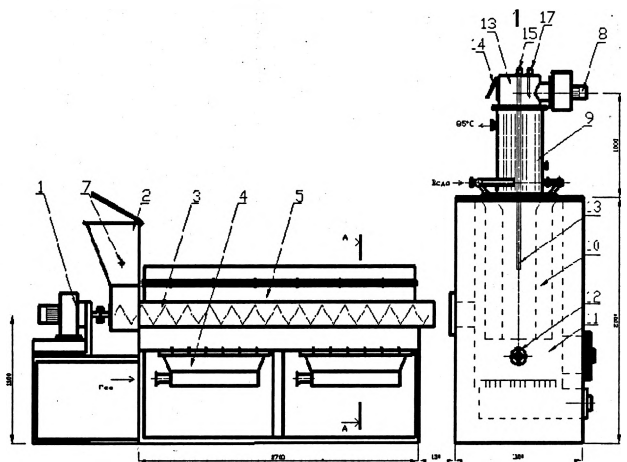
Таким образом, можно сделать вывод о возможности двух подходов к обеспечению экологической чистоты выбросов при теплоутилизации горючих отходов: либо сделать акцент на очистку дымовых газов, либо организовать процесс таким образом, чтобы уменьшить возможность образования вредных компонентов в дымовых газах.

Возможна и комбинация этих методов.

Многие технические решения по теплоутилизации ТБО и других горючих отходов базируются на технологии кипящего слоя. Зарубежная практика показала ее высокую эффективность с минимальным воздействием на окружающую среду для многих высоковлажных отходов различной крупности и сложности по составу. Особенно перспективным представляется совместное сжигание таких отходов с углем, которое дает существенное снижение вредных выбросов.

Определенный интерес представляет теплоутилизация в местах первоначального накопления с минимальной предварительной сортировкой широкой номенклатуры твердых горючих отходов, содержащих резинотехнические, упаковочные, древесные материалы, остатки лакокрасочных, текстильных и пластмассовых изделий, бумаги, картона и т.д., а также медицинских отходов.

Разработанная в ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ опытная установка состоит из двух блоков оборудования – камеры нагрева измельченных отходов (А) и камеры дожигания (Б), которые герметично стыкуются по оси шнека-пиролизатора (рис.).



*Рис. Схема опытной установки*  
 А: 1 – мотор-редуктор привода шнека; 2 – бункер загрузки измельченных отходов; 3 – подвижно-составной шнек - пиролизатор отходов; 4 - газовые ИК - нагреватели шнека; 5 - теплоизолированная камера нагрева шнека; 6 – датчик температуры камеры нагрева; 7 – датчик температуры в бункере.  
 Б: 8 – дымосос установки; 9 – водогрейный (кожухо - трубный) теплоутилизатор газов; 10 – цилиндрическая камера дожигания летучих фракций; 11 – камера сжигания твердых фракций; 12 – газовый инжекционный запальник камеры; 13 – приточно – газоходная камера дымососа; 14 – заслонка притока наружного воздуха; 15 – датчик температуры дожигания; 16 – датчик температуры уходящих газов

Предложенная технология предполагает, что пиролиз измельченных отходов происходит по длине нагрева шнека, из которого твердая фракция - продукты пиролиза выгружаются в камеру сжигания, а летучие под разрежением дымососа втягиваются в цилиндрическую камеру дожига, в которой концентрируется все тепловыделение и обеспечивается температура не менее 1250°C. Зольный остаток периодически удаляется по мере накопления.

Режим пиролиза поддерживается и регулируется посредством газовых ИК – горелок. Заданная температура в камере нагрева шнека достигает 600-700°C, при которой пиролиз утилизируемых горючих отходов происходит после их предварительной сушки и нагрева до 250-300°C. За счет тепла уходящих дымовых газов в теплоутилизаторе происходит нагрев воды, которую можно использовать на технические нужды и для обогрева помещения.

Таким образом, горючие отходы производства и потребления можно рассматривать, как важный энергетический ресурс, способный в определенной степени заместить природный газ и мазут. Вместе с тем основными сдерживающими причинами являются:

- отсутствие отечественных технологий и оборудования для теплоутилизации горючих отходов в промышленном масштабе;
- высокая стоимость импортируемого оборудования;
- отсутствие в Беларуси опыта работы современных мусороперерабатывающих предприятий и установок.

#### *Литература*

1. Масликов В.И., Федоров М.Л. Природотехнические системы в энергетике // Известия РАН, Энергетика, 2006, № 5. - С 7-16.
2. Федоров М.Л. Вторичные энергоресурсы в системах обращения с отходами // Известия РАН, Энергетика, 2002, № 6.-С.3-10.
3. Боровков В.М., Зысин Л.В., Сергеев В.В. Итоги и научно-технические проблемы использования растительной биомассы и органосодержащих отходов в энергетике // Известия РАН, Энергетика, 2002, № 6. – С.13-23.
4. Рябов Г.А. Использование биомассы и отходов производства для решения проблем энергосбережения // Электрические станции, 2005, № 7. – С.33-38.
5. Рябов Г.А., Литун Д.С., Дик Э.П., Земсков К.В. Перспективы и проблемы использования биомассы и отходов для производства тепла и электроэнергии // Теплоэнергетика, 2006, № 7. – С.61-66.
6. Шубов Л.Я., Петруков О.П., Погадаев С.В. и др. Концепция управления муниципальными отходами мегаполиса // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, вып. № 6, М., ВИНТИ. С.2-77.
7. Шубов Л.Я. Проблема муниципальных отходов и рациональные пути ее решения // Экология и промышленность России, 2005, декабрь. – С.34-39.
8. Манелис Г.Б., Полианчик Е.В., Фурсов В.П. Энерготехнологии сжигания на основе явления сверхадиабатических разогревов // Химия в интересах устойчивого развития, 2000, № 8. – С.537-545.
9. Салтанов А.В., Павлович Л.Б., Калинина А.В. Современные проблемы утилизации углеродсодержащих отходов // Химия в интересах устойчивого развития, 2000, № 8. – С.865-874.
10. Бельков В.М. Методы, технологии и концепция утилизации углеродсодержащих промышленных и твердых бытовых отходов // Химическая промышленность, 2000, № 11. – С.9-25.
11. Волков Э.П., Двоскин Г.И., Молчанова Й.В. и др. Энергию на свалку? Это не по-хозяйски // Энергия, экономика, техника, экология, 2001, № 5. –С.48-52.
12. Тугов А.Н., Москвичев В.Ф., Рябов Г.А. и др. Опыт освоения сжигания твердых бытовых отходов на отечественных ТЭС // Теплоэнергетика, 2000, № 7. – С.55-60.

## **СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИКРЕМНИЯ**

*Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Пальченко Г.И., Рабинович О.С., Акулич А.В., Корбан В.В.*

Энергетика является основой мирового экономического прогресса и непосредственно влияет на благополучие человечества. Надежное обеспечение современного общества различными видами энер-

гии по приемлемым ценам с минимальным ущербом для окружающей среды – один из важнейших факторов устойчивого развития цивилизации.

Более 200 лет потребности в энергии удовле-