

## **ДВУХСТАДИЙНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ**

*Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Гребеньков А.Ж.,  
Мартынюк В.И., Пальченко Г.И.*

*Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН  
Беларуси, 220072, г. Минск, ул. П.Бровки, 15, тел. 284-10-57,  
e-mail: dsl@hmti. ac.by*

Крупными нетрадиционными постоянно возобновляемыми ресурсами энергетики являются коммунальные и производственные отходы, которые содержат в значительных количествах горючие компоненты и постоянно 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 полимерных материалов, бумаги, картона и 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).

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
Горючие 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

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 3

Экономическая эффективность различных технологий переработки ТБО

Показатели	Технологии					
	сжигание	компос- тирование	сортировка + сжигание	сортировка + компос- тирование	комп- лекс- ная перера- ботка	Сорти- ровка + компактир- ование
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, морфологического 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 достигать 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.

Разработанная в ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ двухстадийная технология и опытная установка предназначены для экологически безопасной 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 отходов, образующихся в медицинских учреждениях.

Установка состоит из двух блоков оборудования – камеры нагрева измельченных отходов и камеры дожигания, которые герметично стыкуются по оси шнека-пиролизатора (рис.).

- 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.
- 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

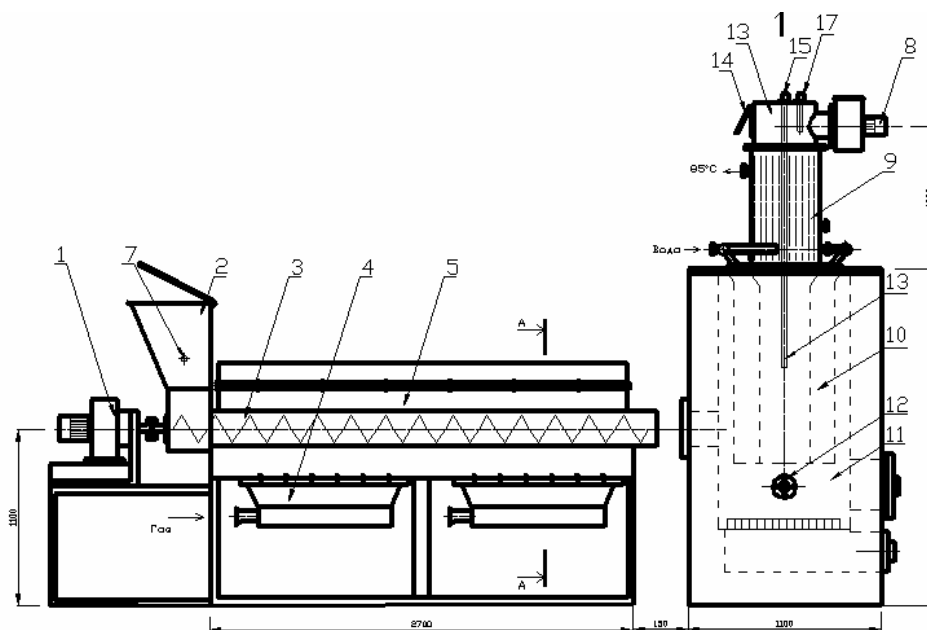


Рис. Схема опытной установки

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 дожигания, 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.

Вместо камеры дожигания возможно размещение системы сборников и конденсаторов для отделения конденсируемых нефтепродуктов из образующейся при пиролизе резиботехнических материалов парогазовой смеси.

Выполненные на опытной установке экспериментальные исследования подтвердили возможность высокоэффективной теплоутилизации различных горючих отходов.

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.

#### Список литературы

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 сверхadiaбатических 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 И.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.

# Теплоутилизация коммунальных, производственных и медицинских отходов

## Организации-разработчики:

- ГО «Белресурсы»
- ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова» Национальной академии наук Беларуси (ИТМО НАНБ)
- ОАО «ГСКБ» (г. Брест)

Опытная установка УТПО-0,12Т предназначена для отработки технологии и оборудования по экологически безопасной теплоутилизации измельченных твердых органосодержащих отходов непосредственно в местах их первоначального накопления с минимальной предварительной сортировкой и одновременно использования их теплового потенциала.

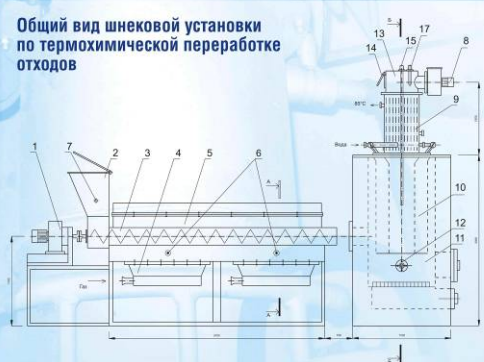
Работа установки заключается в пиролизе отходов по длине нагрева шнека, из которого твердые фракции - продукты пиролиза выгружаются в камеру сжигания, а летучие под разрежением дымососа втягиваются в цилиндрическую камеру дожигания, расположенную непосредственно над колосниковой решеткой внутри первой камеры. Продукты горения твердой фракции также втягиваются в камеру дожигания, тем самым в ней концентрируется все тепловыделение отходов, включая и продукты горения газа из камеры нагрева шнека.

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.

Обеспечивается температура в камере дожигания не менее 1250°C.

За счет тепла уходящих дымовых газов в теплоутилизаторе происходит нагрев воды до температуры 85°C.

Общий вид шнековой установки по термохимической переработке отходов



## Технические характеристики установки УТПО-0,12Т

Наименование показателей	Величина
Производительность по отходам, кг/ч	20-30
Исходная влажность отходов (не более), %	30
Теплота сгорания отходов (не менее), ккал/кг	5000
Потребление газа (горелки ГИИ-15 и запальник), кг/ч	2,0-3,0
Номинальное давление газа перед горелками, кПа	3,0
Температура в камере нагрева шнека (не более), °C	700
Температура в камере дожигания, °C	1250
Температура отходящих дымовых газов (не более), °C	200
Температура нагрева воды в теплоутилизаторе (не более), °C	85
Расход нагреваемой воды, м³/ч	1,5
Давление нагреваемой воды (не более), МПа	0,3
Номинальная тепловая мощность нагрева воды, МВт	0,12
Объем газовых выбросов продуктов дожигания, м³/ч	500
Установленная мощность мотор-редуктора, кВт	0,25
Установленная мощность дымососа, кВт	0,37
Габаритные размеры, мм	
длина	5540
ширина	1550
высота	3100
Масса, кг	4500

Установка состоит из 2-х блоков камеры нагрева отходов и камеры дожигания, которые герметично стыкуются по оси шнека.

Камера нагрева отходов включает следующие узлы и элементы:

- 1 - мотор-редуктор привода шнека (МРА 5/3-625.111.00.63A4)
- 2 - бункер загрузки измельченных отходов
- 3 - подвижно-составной шнек - пиролизатор отходов
- 4 - газовые ИК-нагреватели шнека (горелки ГИИ-15)
- 5 - теплоизолированная камера нагрева шнека
- 6 - датчик температуры камеры нагрева
- 7 - датчик температуры в бункере

Камера дожигания включает следующие узлы:

- 8 - дымосос установки (тип КВ-0,12Т)
- 9 - водогазопроводный (кожухо-трубный) теплоутилизатор газов
- 10 - цилиндрическая камера дожигания летучих фракций
- 11 - камера сжигания твердых фракций
- 12 - газовый инжекционный запальник камеры
- 13 - приточно-газодоводная камера дымососа
- 14 - заслонка притока наружного воздуха
- 15 - датчик температуры дожигания
- 17 - датчик температуры уходящих газов

