

СТРАТЕГИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТКО

Д. В. Сталинский, д. т. н., проф., генеральный директор,

А. З. Рыжавский, к. т. н., главный конструктор,

А. С. Рудюк, к. т. н., заместитель генерального директора,

А. В. Зимогляд, заместитель директора структурного подразделения, Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (г. Харьков)

В статье рассмотрены применяемые в странах СНГ методы сжигания ТКО, даны рекомендации по оптимальным методам и способам сжигания ТКО и сопутствующим процессам.

Проблема управления ТКО актуальна для всех стран СНГ, где практически все ТКО складировать на полигонах и неорганизованных свалках, в результате чего происходит интенсивное загрязнение атмосферы, почвы и подземных вод.

Полигоны переполнены, мероприятия по их расширению (либо организации новых) сопровождаются активным сопротивлением жителей близлежащих населенных пунктов. Один из ярких примеров, который получил широкую огласку в средствах массовой информации, касался катастрофического состояния системы обращения с ТКО в г. Львове. Резонанс был вызван запретом приема отходов на единственный полигон по причине массовых протестов населения.

Отметим, что в России на десять мусоросжигательных заводов (МСЗ) направляется весьма небольшая доля отходов. На Украине на единственном МСЗ (г. Киев) сжигают около 1 % образующихся в стране ТКО. Для сравнения: за десять лет (с 2000 по 2010 г.) количество ТКО, передаваемых на МСЗ, в Европе возросло более чем на 30 %, в том числе:

- в Германии – на 67 %;
- во Франции – на 7 %;
- в Австрии – в 2,7 раза;
- в Англии – на 43 %.

В Японии 75 % ТКО сжигается на 1900 МСЗ, вырабатывающих 6,7 ТВт·ч электроэнергии. В Европе на 410 мусоросжигательных заводах производится 78 млн Гкал тепловой и 31 ТВт·ч

электрической энергии для коммунальных нужд [1].

В 2012 г. во всем мире функционировало свыше 2500 МСЗ и отдельных установок, перерабатывающих 200 млн т ТКО и производящих 130 ТВт·ч электроэнергии [1, 2].

Стремление к сокращению количества полигонов и свалок необходимо учесть при выработке стратегии в странах СНГ. Однако нужно учесть и то, что, в отличие от ТКО Европы, США и Японии, наши отходы – несортированные, у них повышенная влажность и относительно низкая теплотворная способность.

ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» имеет более чем 40-летний опыт по созданию технологии и оборудования для обезвреживания влажных горючих промышленных отходов, ТКО [3, 4], ядохимикатов [5], отработанных шин [6]. Авторами данной статьи проведены расчетные исследования многочисленных технологий применительно к реальному составу ТКО и сделаны следующие выводы:

- полигоны для депонирования (захоронения) ТКО наносят существенный вред окружающей природной среде (ОПС) и должны уступить место технологиям, рассчитанным на экологически безопасное сжигание ТКО с производством энергоресурсов;

- необходимо внедрять раздельный сбор ТКО в промышленных масштабах с созданием индустрии по переработке отобранного сырья в странах СНГ в зависимости от жилищных условий и ментальности населения. До-

ля раздельного сбора и вывоза отсортированных отходов в общем объеме его образования в ближайшие 10–15 лет будет невелика. В городах преобладает стихийный отбор макулатуры, металла, стеклотары на придворовых площадках сбора ТКО. По этой причине, а также из-за увлажнения мусора, находящегося в открытых баках, атмосферными осадками сортировочные станции (за редким исключением) экономически себя не оправдали;

- компостирование с получением удобрений, биогаза и более сложной технологии – аэробно-анаэробно, так как компост, засоренный тяжелыми металлами и неорганическим мусором, не находит применения, а утилизировать биогаз при существующем составе ТКО нерентабельно;

- технология пиролиза с получением пиролизного газа для массовой переработки ТКО не может быть рекомендована ввиду технологических сложностей и таких факторов, как:

- необходимость сушки и дробления ТКО;
- потери энергетического потенциала по причине вывода из процесса с золой части углерода;
- применение дорогостоящей очистки пирогаза от смол, соединений серы, хлора и др.

МСЗ, работавшие по технологии пиролиза в Европе, по указанным причинам, а также из-за частых технологических сбоев, приводящих к простоям, перепрофилированы или демонтированы [1]. По нашим расче-

там, при морфологическом составе и влажности ТКО г. Москвы [7, 8] для осуществления процесса пиролиза, включая сушку, требуется сжечь ~2,6 ГДж/т ТКО пирогаза с соответствующим сокращением вторичного тепла или использованием дополнительного топлива.

Плазменная переработка ТКО при температуре до 2000 °С является еще более энергозатратной разновидностью пиролиза и может быть рекомендована только для переработки отдельных видов особо опасных отходов [1].

Из этих положений следует, что при сложившихся в странах СНГ условиях образования и сбора ТКО наиболее рациональной технологией их утилизации является сжигание с предварительным отбором крупных фракций негорючих составляющих и последующей утилизацией вторичного тепла для производства тепловой и электрической энергии в соответствии с требованиями конкретного заказчика.

Ниже рассмотрены технологии сжигания ТКО, очистки продуктов горения и утилизации тепла ТКО с целью выбора оптимального оборудования и методик. Морфологический состав и свойства ТКО приняты на основе исследований ученых РФ [7–10]. Представлены как импортные технологии и оборудование, применяемые на московских МСЗ № 2, 3, 4, так и разработанные на Украине и в РФ технологии сжигания отходов в расплаве шлака и во вращающихся печах с использованием производимого в СНГ оборудования.

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТКО

В освоенных в промышленных условиях на территории СНГ мусоросжигательных установках применяются следующие технологии и оборудование, обеспечивающие сжигание не менее 99 % органической части ТКО:

- механизированные колосниковые решетки [11];
- печи вихревого кипящего слоя [12];
- печи шлакового расплава [3, 13].
- вращающиеся печи [4].

Механизированные колосниковые решетки типа «Мартин», обеспечива-



Фото 1. Установка ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» для обезвреживания непригодных средств защиты растений в расплаве

ющие перемешивание мусора, установлены в топке котла (МСЗ № 2, г. Москва) и в специальной футерованной камере перед котлом (МСЗ № 3, г. Москва).

По условиям стойкости элементов решетки и для сжигания топлива под них подается вентиляторный воздух без предварительного подогрева или с подогревом не более чем до 220 °С. На колосниковых решетках последовательно осуществляется сушка и выгорание органической части ТКО. Для поддержания температуры в топочных камерах установлены горелки природного газа [11].

Печи вихревого кипящего слоя типа Rowitex установлены на МСЗ № 4, г. Москва. Предварительно отсортированный с извлечением сырьевых составляющих мусор размальывается и сжигается в печах кипящего слоя при температуре до 700 °С на слое известняка и крупного песка. Размолотый известняк связывает значительную часть SO_2 , HCl , F , выделяющихся при горении. Верхняя часть печи – камера дожигания, оборудованная горелкой природного газа, где дожигаются CO и углеводороды при температуре ~1000 °С. Под колосниковую решетку печи кипящего слоя и в камеру дожигания подается холодный вентиляторный воздух [12].

СЖИГАНИЕ ТКО В ШЛАКОВОМ РАСПЛАВЕ

Сжигание опасных отходов в шлаковом расплаве осуществлено в 2007

г. в передвижной установке на ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» в Полтавской области Украины (фото 1) [13]. Несмотря на подогрев воздуха до 400 °С в рекуператоре продуктами горения и относительно низкую температуру расплава соды (850 °С), удельный расход дизельного топлива составил ~150 кг/т переработанных отходов.

Рассматривается предложение осуществить переработку сортированных ТКО в расплаве шлака в печах Ванюкова, успешно работающих на предприятиях цветной металлургии [3].

Жидкий шлак с загруженными на него ТКО продувается воздушно-кислородной смесью. Теплосодержание горючей части ТКО при сжигании в смеси кислорода с воздухом (~74 % кислорода), подаваемой через фурмы в водоохлаждаемых боковых стенах ванны в шлак, обеспечивает температуру процесса ~1350 °С, а минеральные добавки в шлаке связывают SO_2 , Cl , HCl , HF . Это позволяет получить из шлака строительный материал (щебень, минеральную вату и др.), исключив его вывоз на полигоны.

Удельный расход кислорода составляет 52,5 м³/т, компрессорного воздуха – 260 м³/т, природного газа – 30,5 м³/т.

СЖИГАНИЕ ТКО ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ

ТКО подвергаются частичной сортировке с отбором исключительно



Фото 2. Установка для сжигания ТКО во вращающейся печи в г. Люботине Харьковской обл.

негорючих отходов: стекла, металла, камней и др. (в отсеке мелочи нет необходимости). Отходы подаются для сжигания в прямоточную вращающуюся печь вместе с воздухом, нагретым в рекуператоре до 400–450 °С, что обеспечивает температуру процесса 900–950 °С без дополнительного топлива. При влажности ТКО до 50 % необходимо использовать дополнительное топливо лишь при запуске процесса (сушка и разогрев футеровки) в количестве не более 500 МДж/т (в пересчете на природный газ – до 15 м³/т). Такие показатели подтверждены 15-летним опытом эксплуатации мусоросжигательной установки (фото 2) в г. Люботине (Харьковская область, Украина) [4] и техническими расчетами [5]. Технология сжигания ТКО во вращающихся печах существенно усовершенствована и запатентована ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» [14, 15, 16].

Для сравнения вышеперечисленных технологий сжигания ТКО по энергоемкости оценим тепло, вносимое воздухом, нагретым до 450 °С. При удельном расходе воздуха (~3000 м³/т) его теплосодержание составляет около 1900 МДж/т. Для компенсации этого тепла (с учетом потерь) с продуктами горения топлива при использовании холодного воздуха необходимо внести с топливом не менее 2400 МДж/т ТКО (~70 м³/т природного газа). При нагреве воздуха до 220 °С с топливом необходимо внести ~1250 МДж/т ТКО (~35 м³/т природного газа).

При сжигании ТКО в шлаковом расплаве для производства и компримирования 535 м³ кислорода и 260 м³ компрессорного воздуха необходимо затратить не менее 1000 кВт·ч электроэнергии, для производства которой в электростанции понадобится как минимум 100 м³ природного газа. При отказе от кислорода и использования (для поддержания температуры шлака) подачи через фурмы продуктов горения природного газа в воздухе, нагретом в рекуператоре до 450–500 °С, расход природного газа, по ориентировочным расчетам, составит ~100 м³/т ТКО (3400 МДж/т).

При сопоставлении учтена разница в производстве теплоэнергии в котлах-утилизаторах. Результаты сведены в таблицу. При расчетах принят тепловой КПД технологической линии сжигания ТКО – 80 %, котельной – 92 %.

По энергетической эффективности наиболее предпочтительной является технология сжигания ТКО во вращающейся печи с нагревом воздуха горения в рекуператоре до 450 °С. Наименее энергоэффективная технология сжигания ТКО – в печи жидкой ванны. Исходя из опыта авторов статьи, для обслуживания такой печи необходим специально подготовленный персонал. Кроме того, наличие стационарных водоохлаждаемых фурм ниже уровня жидкого шлака и котла-утилизатора над расплавленной ванной при авариях может привести к взрывам с серьезными последствиями.

Все рассмотренные мусоросжигательные установки включают теплоутилизаторы и многоступенчатые системы газоочистки.

Теплоутилизаторы обеспечивают снижение температуры продуктов горения перед газоочисткой и производство вторичных энергоресурсов, используемых для теплоснабжения, производства электроэнергии и собственных нужд. В соответствии с принятой технологией сжигания ТКО в теплоутилизатор встраивается подогреватель воздуха горения.

Многоступенчатые системы газоочистки, хоть и отличаются составом и набором реагентов, обеспечивают очистку газа до конечных концентраций вредных веществ, соответствующих нормам Евросоюза.

Выбор конструкции и параметров работы теплоутилизатора, состава аппаратов и реагентов для очистки продуктов горения должен производиться с учетом конкретных требований заказчика и технико-экономического анализа.

ВЫВОДЫ

Для достижения оптимальных технических, экономических и экологических показателей нет оснований приобретать у зарубежных фирм технологию и оборудование МСЗ, рассчитанных на утилизацию ТКО, существенно отличающихся по составу и теплотворной способности от образующихся в странах СНГ. Целесообразным представляется:

- отбирать при сортировке только некоторые виды негорючих составляющих ТКО (металлы, стекло, крупные камни);
- сжигать ТКО во вращающихся печах при температуре на выходе ≥ 900 °С, при времени пребывания материала в печи 2 ч, коэффициенте избытка воздуха, равном 1,0–1,1; воздух горения отбирается на всас вентилятора из-под кровли складов ТКО и нагревается в рекуператоре до температуры ~450 °С;
- производить дожигание углеводородов и СО в продуктах горения в камере дожигания без дополнительного топлива; объем камеры должен быть рассчитан на время пребывания продуктов горения (не менее 2 с);
- вводить в камеру дожигания карбамид и известковое молоко в количестве, соответствующем восстанов-

Сопоставление энергетических показателей мусоросжигательных агрегатов

Технология сжигания	Удельные показатели, МДж/т ТКО				
	Расход в пусковой период	Расход в ходе эксплуатации	Выработка теплоэнергии	Возможное производство теплоэнергии в котельной из топлива**	Теплоэнергия на 1 т ТКО
На колосниковой решетке, включая вихревой кипящий слой*	500	2400/1250	7100/6200	2200/1150	4700/4950
В печи жидкой ванны	1050	3400	7900	3100	4500
Во вращающейся печи	500	–	5200	–	5200

Примечания.

*Числитель – холодный воздух горения; знаменатель – воздух горения, нагретый до 220 °С.

**Без учета топлива для пуска.

лению окислов азота и связыванию «кислых» вредных веществ с избытком не менее 20 %;

- использовать теплоутилизатор в виде котла-утилизатора со встроенным рекуператором для нагрева воздуха горения до ~450 °С и теплообменником для подогрева дымовых газов, очищенных в рукавном фильтре до ~400 °С перед каталитическим аппаратом;

- совершать очистку газа от пыли последовательно в циклоне и рукавном фильтре, рассчитанном на температуру газа до 200 °С;

- производить дожигание остатков монооксида углерода и тяжелых углеводородов в очищенном от пыли газе каталитическом аппарате с последующей утилизацией тепла в экономайзере питательной воды первой ступени рекуператора и охлаждением продуктов горения до 100–110 °С;

- обеспечивать улавливание паров тяжелых металлов в абсорбере с активированным углем перед дымовой трубой;

- эвакуировать продукты горения в атмосферу дымососом через дымовую трубу, общую для всех технологических линий;

- оснастить технологическую линию современной трехуровневой системой автоматизации технологического процесса.

Вся техническая документация и не менее 85 % оборудования, материалов и конструкций для внедрения предлагаемой технологии производится как в России, так и на Украине. ♻️

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальшевский А.Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов

жилого фонда в городах России / А.Ф. Мальшевский. – М., 2012. – 47 с.

2. Евростат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://err.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table@plugin>.

3. Сжигание отходов в шлаковом расплаве / В.М. Парецкий, Р.И. Кашкин, А.В. Кузнецов и др. // ТБО. – 2009. – № 9. – С. 34–38.

4. Бирюков Д.Б. Технология комплексной утилизации отходов для стран СНГ / Д.Б. Бирюков, А.З. Рыжавский, А.А. Файнштейн // ТБО. – 2010. – № 11. – С. 25–27.

5. Рыжавский А.З. Твердые бытовые отходы – неисчерпаемый источник альтернативного топлива / А.З. Рыжавский, В.В. Юрко // Экология и промышленность. – 2016. – № 3. – С. 91–93.

6. Сталинский Д.В. Определение рациональных параметров реактора термохимической деструкции изношенных автомобильных шин / Д.В. Сталинский, А.А. Скоромный, Дик Э.П. *Теплотехнические характеристики ТБО г. Москвы, определенные по методике ВТИ / Э.П. Дик, А.Н. Тугов, К.А. Земсков // ВэйстТэк-2007: Сб. докл. 5-го междунар. конгресса по управлению отходами, 29 мая – 1 июня 2007 г. – М.: СИБИКО, 2007. – С. 286–287.*

7. Тугов А.Н. Исследование процессов и технологий энергетической утилизации бытовых отходов для разработки отечественной ТЭС на ТБО: автореф. дис. ... доктора техн. наук : 05.14.14 / А. Н. Тугов. – М., 2012. – 44 с.

8. Ильиных Г.В. Морфологический состав отходов: основные тенденции изменения / Г.В. Ильиных, Н.И. Слюсарь, В.Н. Кортаев // ТБО. – 2011. – № 8. – С. 38–41.

9. Отходы мегаполиса: морфологический и фракционный состав / Н.Ф. Абрамов, С.В. Архипов, М.В. Карелин, А.Я. Жилинская // ТБО. – 2009. – № 9. – С. 42–45.

10. Пуверев Е.И. Проектирование объектов санитарной очистки Москвы / Е.И. Пуверев, В.Е. Корецкий // ТБО. – 2011. – № 8. – С. 20–40.

11. Прядко А.А. Современные МСЗ в системе санитарной очистки территорий мегаполисов / А.А. Прядко // ТБО. – 2011. – № 10. – С. 24–29.

12. Передвижная установка по обезвреживанию непригодных к использованию средств защиты растений / А.Ю. Пирогов, С.Л. Стасевский, А.З. Рыжавский и др. // Экология и промышленность. – 2008. – № 1. – С. 36–38.

13. Синозацкий А.М. // Экология и промышленность. – 2010. – № 3. – С. 75–79.

14. Пат. 50888 Украина, МПК F23G5/00. Виробничий комплекс для утилізації твердих побутових відходів / Сталинский Д.В., Рыжавский А.З., Дунаев А.В., Пирогов А.Ю., Бирюков Д.Б., Стасевский С.Л., Зимогляд А.В., Азарнов А.А.; заявитель и патентообладатель ГП «УкрНТЦ «Энергосталь». – № и200913796; заявл. 29.12.09; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12. – 7 с.: ил.

15. Пат. 100021 Украина, МПК F23G5/00, F23G5/02. Виробничий комплекс для утилізації твердих побутових відходів / Сталинский Д.В., Рыжавский А.З., Дунаев А.В., Пирогов А.Ю., Бирюков Д.Б., Стасевский С.Л., Зимогляд А.В., Азарнов А.А.; заявитель и патентообладатель ГП «УкрНТЦ «Энергосталь». – № а200913789; заявл. 29.12.09; опубл. 12.11.12, Бюл. № 21. – 10 с.: ил.