

УДК 66.04

О.П. КРОТ

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Рассмотрена проблема накопления муниципальных отходов в Украине, проанализированы основные способы обращения с отходами в странах Европейского Союза. Приведены схемы и проанализированы способы термической обработки и обезвреживания муниципальных отходов с учетом минимального воздействия на окружающую среду. Предложены решения по эффективному комплексному управлению утилизацией муниципальных отходов. Оценена перспективность использования установок для сжигания неутрализованных отходов с получением тепловой и/или электрической энергии.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, инсинерация, пиролиз, сжигание.

О.П. КРОТ

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРМІЧНОГО ЗНЕШКОДЖЕННЯ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ

Розглянута проблема накоплення муніципальних відходів в Україні, проаналізовано основні способи поводження з відходами в країнах Європейського Союзу. Наведено схеми та проаналізовано способи термічної обробки і знешкодження муніципальних відходів з урахуванням мінімального впливу на навколишнє середовище. Запропоновано рішення щодо ефективного комплексного управління утилізацією муніципальних відходів. Оцінена перспективність використання установок для спалювання неутрализованих відходів з отриманням теплової та / або електричної енергії.

Ключові слова: тверді побутові відходи, інсинерація, пиролиз, спалювання.

O.P. KROT

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture

OPTIMIZATION OF PROCESS OF THERMAL DESTRUCTION OF MUNICIPAL WASTE

The problem of accumulation of municipal waste in Ukraine was discussed. The main methods of waste management in the European Union were analyzed. Circuits and methods for heat treatment and disposal of municipal waste studied considering the minimal impact on the environment. Proposed solutions for the effective utilization of the integrated management of municipal waste. The author suggested the use of forward-looking incineration of municipal solid waste, to produce a thermal and / or electrical energy.

Keywords: municipal solid waste incineration, pyrolysis, burning.

Постановка проблемы

Муниципальные отходы накапливаются в огромных количествах в Украине, вызывая экологические проблемы. Во-первых, большая часть мусора по всей стране вывозится на полигоны твердых бытовых отходов, которые не отвечают европейским стандартам, не оборудованы должным образом, на них не соблюдаются нормы и правила складирования. Это приводит к загрязнению грунтовых вод, а также к выделению в атмосферу метана и диоксида углерода, которые являются парниковыми газами. Во-вторых, несанкционированные свалки заполнили лесополосы, прибрежные зоны и промышленные зоны крупных городов. Эти свалки, кроме привычных загрязнений окружающей среды, могут содержать отравленные ядохимикатами, люминесцентные лампы, отработанные масла. За последние годы по всей стране участились случаи обнаружения свалок с различными категориями отходов, в том числе и токсичными отходами. В-третьих, в Украине практически отсутствует система управления переработкой муниципальных отходов. Основные способы утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) в основном включают в себя открытое захоронение на полигонах. За 2014 год в Украине только 4,2% муниципальных отходов было переработано и утилизировано, из них 1,7% были сожжены, а 2,5% - переработаны на пунктах заготовки вторичного сырья, в частных случаях компостированы. Полигоны ТБО перегружены в среднем на 18% и не соответствуют нормам. На рис.1 и 2 показана статистика обращения в Украине в 2011-2015 годах с муниципальными отходами, которые образуются в процессе жизни и деятельности человека в жилых и нежилых домах и не используются по месту их накопления. Данные за 2014 и 2015 годы приведены без учета Автономной Республики Крым, г.Севастополя и части

Донецкой и Луганской области [1].

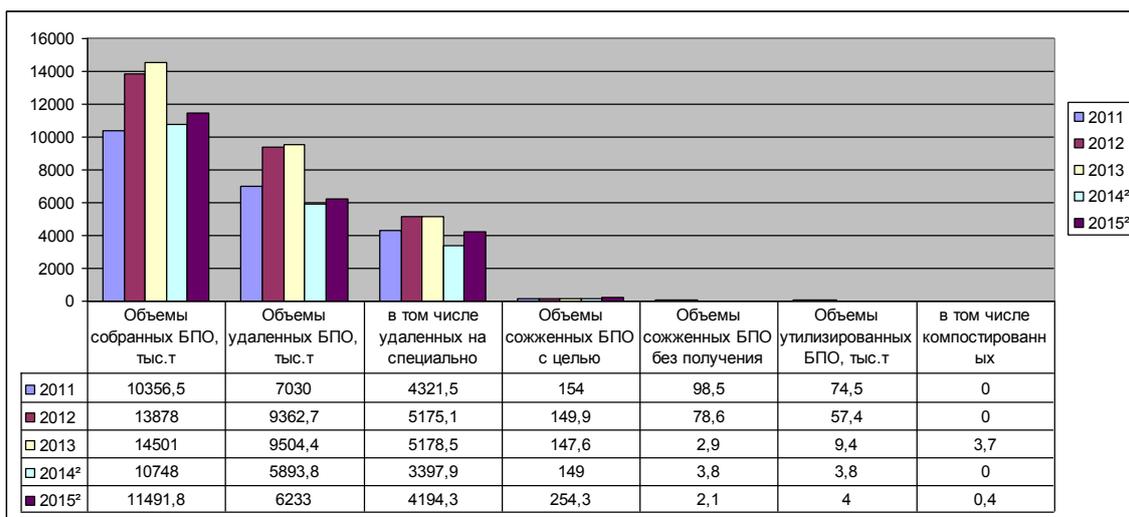


Рис.1. Обращение с муниципальными отходами в Украине в 2011-2015 годах

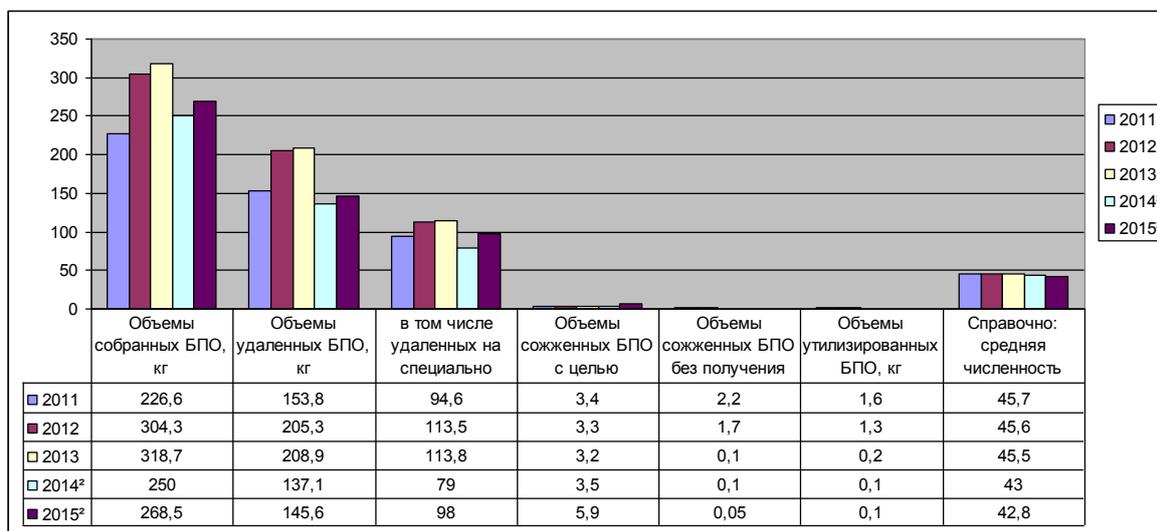


Рис. 2. Обращение с муниципальными отходами в Украине в 2011-2015 годах в кг из расчета на душу населения

Зачастую при обсуждении реализации и оптимизации управления и обращения с ТБО в странах и регионах по всему миру сталкиваются с такими проблемами как высокая стоимость внедрения предлагаемых технологических и организационных решений. Либо проблемой оказывается то, что переработку сортировкой полностью заменяет сжигание отходов, нанося ущерб здоровью человека и окружающей среде.

Анализ последних исследований и публикаций

Сжигание отходов является наиболее распространенным методом утилизации энергии твердых бытовых (и для некоторых видов промышленных) отходов. Сжигание отходов, включая восстановление тепла, применяется в более чем в 450 энергетических объектах по всей Европе и многих других странах в остальной части мира. Последние данные Евростата [2], представленные на рис. 3 и 4, показывают, что, несмотря на уменьшение количества образующихся отходов, каждый человек в Европейском Союзе (ЕС) в среднем производит 474 кг бытовых отходов. В 2014 году 465 кг (98%) ТБО были обработаны различными способами, среди них: 28% были захоронены, 28% переработаны, 27% сожжены, а 15% компостированы (среднее значение по ЕС).

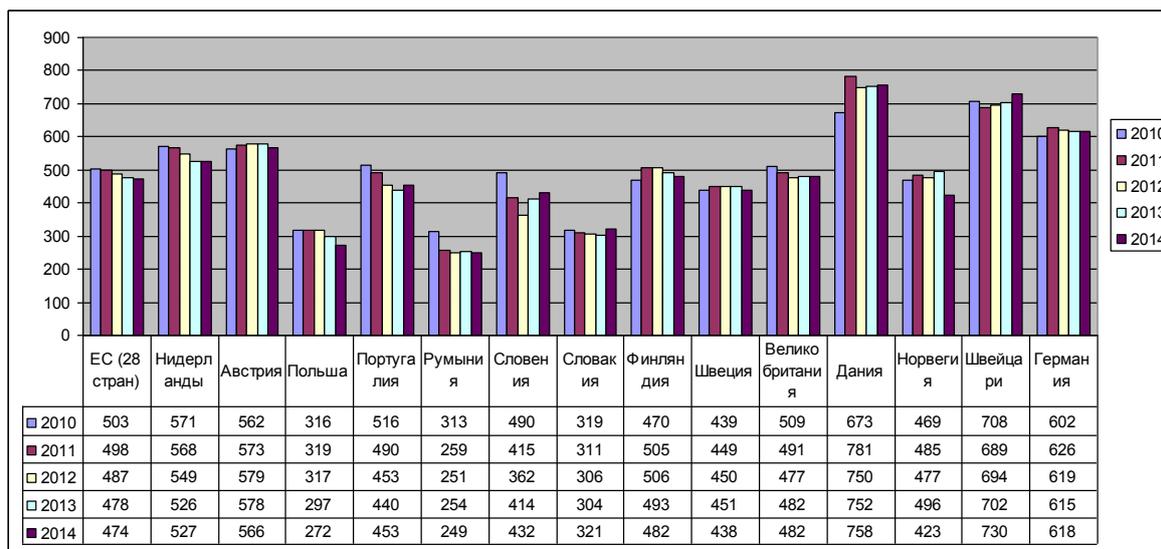


Рис. 3. Количество муниципальных отходов по некоторым странам Европейского Союза (в кг на душу населения)

Годовое количество отходов делится на среднюю численность населения соответствующего года. Демографические показатели были взяты из базы данных Евростата в январе 2017. Количество образовавшихся муниципальных отходов состоит из собранных отходов от имени муниципальных властей или удаленных с помощью системы управления отходами. Для районов, не охваченных муниципальной схемой сбора, количество образовавшихся отходов также оценивается. Муниципальные отходы состоят в значительной степени из отходов, образовавшихся в домашних хозяйствах, но также могут включать в себя аналогичные отходы с малых предприятий, государственных учреждений, отходов офисов и торговли.

Количество бытовых отходов, направленных на сжигание (как с рекуперацией энергии, так и без неё), представлено на рис. 5. Данные – в килограммах на человека. Отходы сельского хозяйства и промышленности не включены.

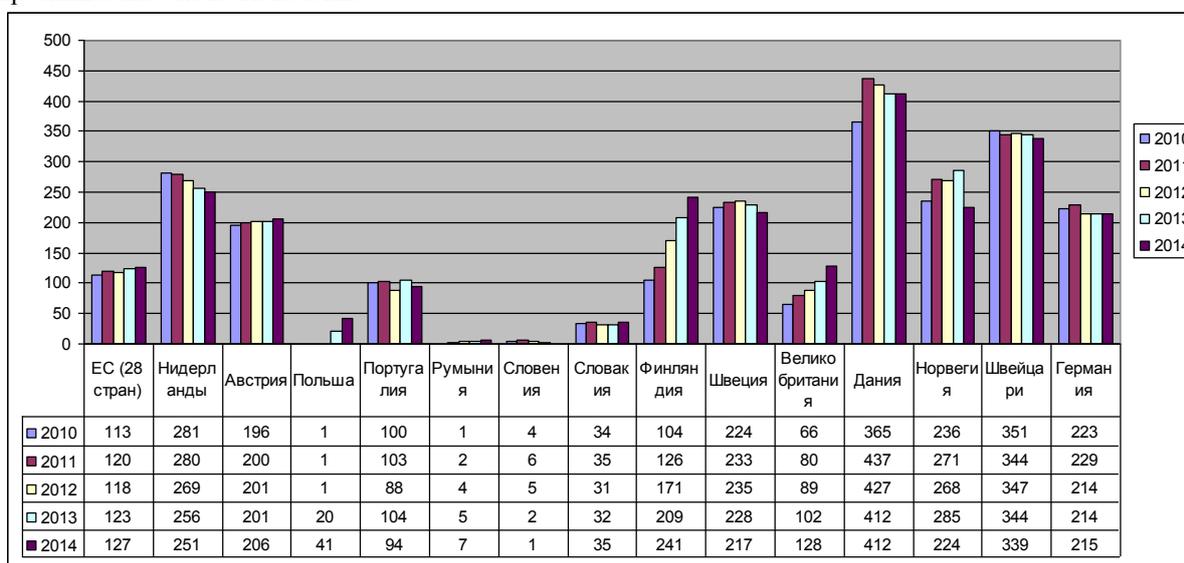


Рис. 4. Сжигание муниципальных отходов, в том числе с рекуперацией энергии по некоторым странам Европейского Союза (в кг на душу населения)

В некоторых наиболее экологически безопасных европейских странах, таких как Дания, Швейцария, Швеция, Нидерланды, Норвегия, Финляндия и Германия, почти половина (или даже больше) коммунальных отходов сжигается [3]. Значительное количество энергии, полученное от этих отходов, обеспечивает тепло системы центрального отопления и/или паром для выработки

электроэнергии, выступая в качестве локально доступного топлива и заменяя ископаемые виды топлива, которые в большинстве случаев в Европе импортируются.

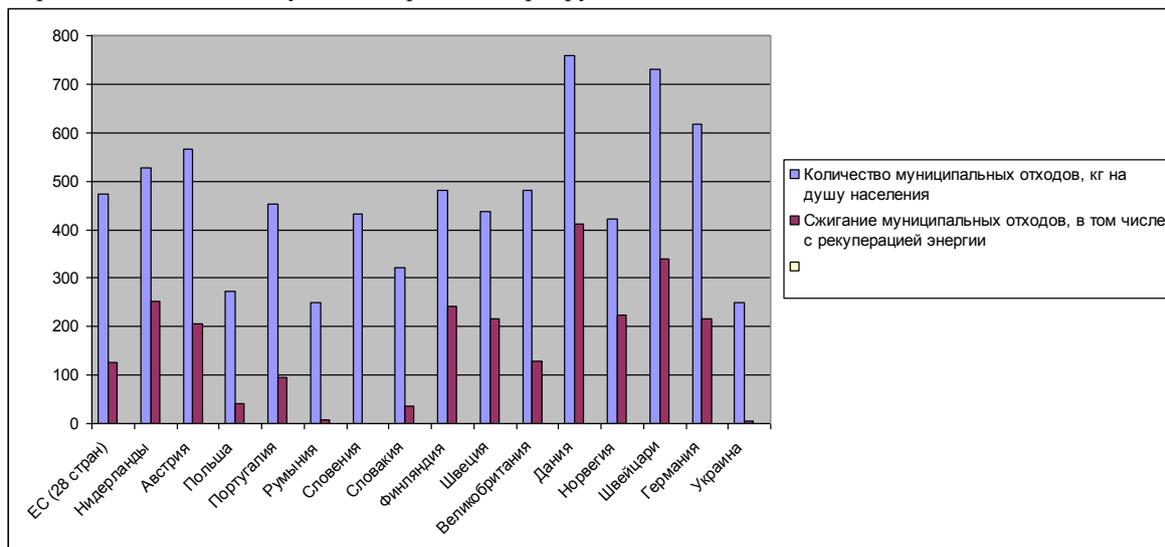


Рис. 5. Образование и сжигание муниципальных отходов

Формулирование цели исследования

Основная цель статьи - на основе анализа статистических результатов и промышленных исследований разработать предложения по экологически безопасному методу энергетической утилизации муниципальных отходов для решения проблемы перегруженности полигонов ТБО Украины с учетом мирового опыта.

Изложение основного материала исследования

Термическое обезвреживание или термическая обработка включает сжигание (употребляется также термин "инсинерация", от incinerate - сжигать, испепелить), а также плазменные методы, термолиз и пиролиз. Установки для сжигания муниципальных отходов, пиролизные установки, газификация и плазменные технологии используют высокотемпературные процессы (диапазон температур от 600 °С до 5000 °С), которые в результате химических и физических преобразований приводят к разрушению и разложению как органических, так и неорганических фракций, входящих в состав отходов.

При использовании установок для сжигания муниципальных отходов их необходимо комплектовать системами газоочистки для гарантии экологически безопасного уничтожения отходов. Это связано с опасностью загрязнения окружающей среды диоксидами и тяжелыми металлами. Как правило, установки имеют первую камеру сгорания, работающую при температуре от 800 до 1000 °С, и вторую камеру сгорания, работающую при контролируемой минимальной температуре 850 °С, со временем выдержки газообразных продуктов сжигания 2 секунды. При обследовании мусоросжигательных печей было показано, что диоксины образуются в процессе сжигания, и их образование происходит в зоне охлаждения [4]. Большая часть образовавшихся диоксинов адсорбируется на частицах летучей золы. Практически полностью удаляют диоксины в отходящих газах мусоросжигательных установок угольные фильтры и каталитические дожигатели.

При внедрении технологии сжигания муниципальных отходов должны выполняться следующие рекомендации:

- использование новых, современных методов при проектировании и эксплуатации установок для сжигания отходов (например, предварительный подогрев; расчет производительности для исключения перегрузки; сжигание при температуре не ниже 800 °С и т.д.);
- использование сортировки отходов, чтобы максимально сократить образование и выделение токсичных веществ в процессе сжигания отходов;
- постоянный контроль и обучение операторов осуществляющих управление установками во избежание недостатков, которые могут привести к ухудшению работы установок для сжигания отходов.

В передовых системах сжигания, дополнительное топливо используется только при запуске и отключении системы, а также в качестве контрольного пламени второй камеры сгорания. При нормальной работе, тепловой эквивалент отходов, помещенных в мусоросжигательную установку, должен быть достаточным для поддержания горения без добавления дополнительного топлива. Сжигание является предметом споров во многих регионах в связи с эмиссиями, являющимися результатом процесса горения. Это, тем не менее, относится лишь к системам с недостаточной или

отсутствующей очисткой топочного газа. Современные мусоросжигательные установки работают без проблем даже в густонаселённых районах.

Модель сжигания отходов во вращающейся печи (рис. 6) описана в работе [5]. Были проведены исследования возможности технических изменений на существующих заводах с целью оптимизации процесса горения и изменения размеров вращающейся печи (длины и диаметра) в зависимости от характеристики подаваемых отходов. Наряду с кинетическими параметрами сжигания конкретного потока отходов были приняты во внимание тепловой и массовый балансы.

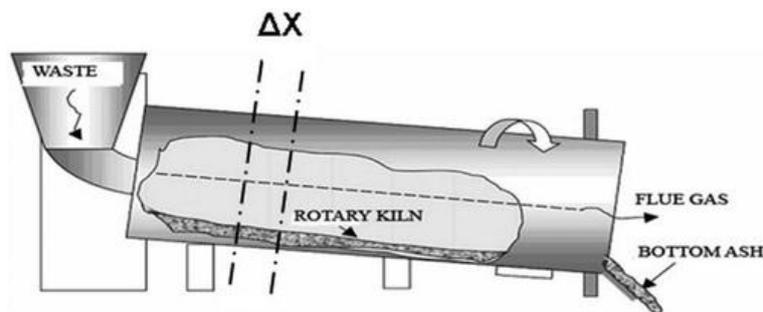


Рис. 6. Пример вращающейся камеры сгорания печи [5]

Пиролиз. Альтернативой обычным методам термической переработки твердых отходов являются технологии, предусматривающие предварительное разложение органической составляющей отходов в бескислородной атмосфере (пиролиз), после чего образовавшаяся концентрированная парогазовая смесь направляется в камеру дожигания, где в режиме управляемого дожига газообразных продуктов происходит перевод токсичных веществ в менее опасные или полностью безопасные. К достоинствам использования пиролизных процессов можно отнести:

- управляемость процесса сжигания при высокой температуре концентрированной неразбавленной парогазовой смеси (теплота сгорания 6680-10450 кДж/м³), что позволяет обеспечить высокую (1200-1300⁰С) температуру по всему объему продуктов сгорания;

- выделяющийся при пиролизе хлорсодержащих материалов активный хлор уже в камере термического разложения реагирует с обязательным продуктом пиролиза любой органики - водородом, образуя стойкое соединение HCl, которое далее легко нейтрализуется на стадии доочистки. Тем самым предотвращается образование диоксинов и фуранов.

В работе [6] представлена пиролизная установка, которая используется для сжигания отходов, в том числе медицинских (рис. 7).

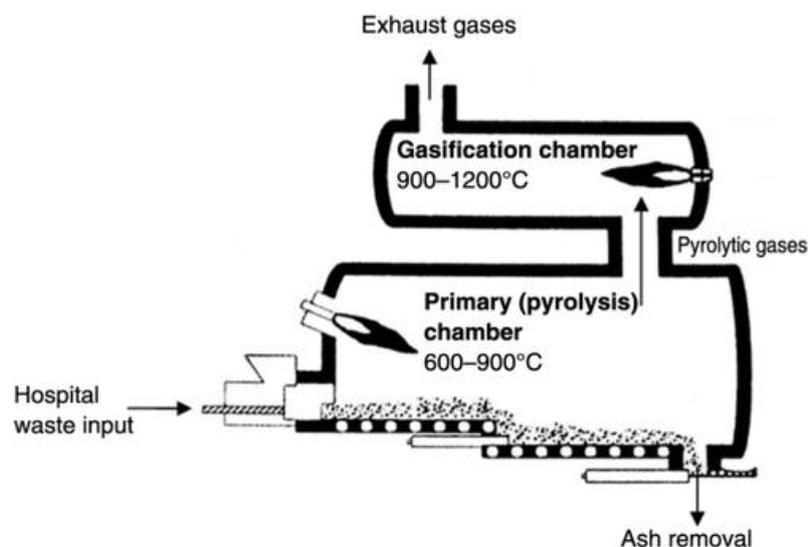


Рис. 7. Применение пиролизного процесса сжигания отходов в Кракове

Последовательность технологического пиролизного процесса переработки отходов представляет: измельчение поставляемых ТБО; смешивание измельченных ТБО с твердым не горючим

материалом и доломитом или известняком; подача под давлением в нижнюю часть реактора (нагрев проводят до формирования в реакторе зоны горения и газификации (температура 700 °С - 1400 °С); прохождение ТБО через зоны - сушки, пиролиза, горения, газификации и охлаждения; непрерывная выгрузка твердого остатка, для обеспечения положения зоны горения на определенной высоте от дна реактора.

В этой зоне кислород взаимодействует с углеродом твердого топлива в виде кокса или полукокса при температуре около 700°С - 1400°С. Свободный кислород газифицирующего агента полностью расходуется и горячие газообразные продукты горения, включая диоксид углерода и пары воды, поступают в следующий слой твердого топлива, в котором диоксид углерода и водяной пар вступают в химическую реакцию с углеродом топлива, образуя горючие газы. Тепловая энергия раскаленных в зоне горения газов частично расходуется в этих реакциях. Температура газового потока снижается по мере того, как газ протекает сквозь твердое топливо и передает последнему свое тепло. В зоне пиролиза нагретое в отсутствие кислорода топливо поддается пиролизу. В результате пиролиза получается кокс, смолы пиролиза и горючие газы.

Горючие газы протекают через слой переработанных ТБО зоны пиролиза и свежезагруженные ТБО зоны сушки, в результате образуется продукт-газ в виде аэрозоля, включающие окись и двуокись углерода, водород, азот и другие газы, пары и мелкие капли конденсированных углеводородов. Проведение процесса переработки в режиме, когда газифицирующий агент и образующийся при газификации аэрозоль, фильтруется через твердые продукты переработки и свежезагруженные ТБО. Это обеспечивает эффективное снижение температуры, как выводимых из реактора остатков твердых продуктов переработки, так и аэрозоля. Кроме того, в зоне сушки производится подогрев и подсыхание свежewedенного ТБО.

Недостатки пиролиза. Высокая стоимость конструкции и относительно высокая стоимость эксплуатации и обслуживания; ограниченный размер частиц, а значит – необходимость использования измельчителя; потребление электричества, топлива и химикатов для очистки топочного газа; необходимость установки системы очистки отходящих газов.

Плазменная технология. В плазменных системах используется электрический ток, который ионизирует инертный газ (например, аргон), и формирует электрическую дугу с температурой около 6000°С.

К преимуществам плазменной технологии можно отнести: обработанные отходы выходят в виде металла или шлака; максимальное снижение веса и объема (по сравнению с другими процессами); возможность восстановления металлов; выходной продукт - полностью инертный стекловидный шлак.

Однако плазменная технология не нашла широкого применения из-за высокой стоимости эксплуатации (высокое потребление электричества), необходимости предварительного измельчения отходов и высокого содержания тяжелых металлов в дымовых газах больше, чем при сжигании.

Переработка опасных отходов в цементных печах. Полученные результаты [6] свидетельствуют о том, что тип сжигаемого топлива не влияет на выброс органических микрозагрязнителей, а эмиссия металлов и хлоридов из цементной печи не увеличиваются при сжигании опасных отходов. Эти исследования показывают, что выбросы частиц (полициклических ароматических углеводородов и других органических углеводородов) в большей степени зависят от условий эксплуатации, чем от вида сжигаемых отходов.

Для опасных отходов, подаваемых в печь, необходимо руководствоваться такими правилами: для подачи отходов, содержащих органические компоненты, которые могут улетучиваться, предусмотреть зону кальцинирования; обеспечить работу печи таким образом, чтобы газ находился при температуре 850 °С в течение 2 секунд; повышение температуры до 1100 °С, если присутствуют опасные отходы с содержанием галогенизированных органических веществ; подачу отходов нужно проводить непрерывно и постоянно. К недостаткам использования цементной печи можно отнести сложность запуска после остановки, необходимость переоборудования системы газоочистки.

Учитывая отдаленность существующих цементных заводов от крупных городов, перспективным можно считать строительство в жилой зоне или вблизи неё малых мусоросжигательных предприятий с вращающимися печами и многоступенчатой очисткой выбросов [8].

Во всех перечисленных методах и процессах сжигания отходов существуют свои особенности, преимущества и недостатки. Мусороперерабатывающий завод должен работать на двух видах топлива, первое из которых — природное, второе — твердые бытовые и горючие промышленные отходы. Калорийность городского мусора составляет примерно треть калорийности угля, поэтому при переработке твердых бытовых отходов эффективно использовать термический метод. Строительство мусоросжигательного завода позволило бы (помимо уменьшения вредного воздействия бытовых и промышленных отходов на состояние окружающей среды города): рекультивировать десятки гектаров земли, занимаемых свалкой; обеспечить выработку теплоносителя и электрической энергии для жителей окрестных территорий; производить из мусора гранулированный шлак, шлакоблоки, лом цветных и черных металлов.

Выводы

1. Управление твердыми отходами - многомерный вопрос. Эффективная система основана не только на технологических решениях, но и на экологических, социально-культурных, правовых и экономических аспектах.

2. Обращение с отходами включает в себя большое количество различных процессов с различными областями интересов. Все эти процессы играют определенную роль в формировании системы города, но часто рассматриваются только как ответственность местных властей.

3. Основой управления должно стать оперативное получение достоверных данных и создание соответствующих информационных каналов как внутри, так и между муниципалитетами. Разработка комплексных стратегий управления отходами должна быть основана на множестве факторов, среди которых и способность потребителей услуг оплачивать эти услуги.

4. Наиболее перспективным техническим решением утилизации ТБО для Украины следует признать сжигание, сопровождающееся системами рекуперации тепла, использования твердых продуктов сгорания и очистки отходящих газов.

Список использованной литературы

1. Документи Державної Служби Статистики України [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. - Режим доступа: \ <http://ukrstat.gov.ua/> - 10.12.2016 г. - Загл. с экрана.
2. Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method [Електронний ресурс] / Eurostat. - Режим доступа: \ <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdpc240&plugin=1> - 10.12.2016 г. - Загл. с экрана.
3. David C Wilson, Ljiljana Rodic, Anne Scheinberg, Costas A Velis¹ and Graham Alabaster. Comparative analysis of solid waste management in 20 cities[Text] / David C Wilson, Ljiljana Rodic, Anne Scheinberg, Costas A// Waste Management & Research. - 2012. - № 30(3), 7. - P. 237 - 254.
4. Robinson H.D., Knox K., Formby R. and Bone, B.D. Science Report Testing of residues from incineration of municipal solid wast [Text] / Robinson H.D., Knox K., Formby R. and Bone, B.D. // Environment Agency. - 2004, 125p.
5. Lombardi F., Lategano E., Cordiner S., Torretta V. Waste incineration in rotary kilns: a new simulation combustion tool to support design and technical change [Text] / Lombardi F., Lategano E., Cordiner S., Torretta V.// Waste Management & Research. - 2013. - № 31, 7. - P. 739 - 750.
6. Gielar A., Helios-Rybicka E. Enviromental impact of a hospital waste incineration plant in Krakow (Poland) [Text] / Gielar, A., Helios-Rybicka, E. // Waste Management & Research. - 2013. - № 31(7) . - P. 722 - 728.
7. Benestad C. Incineration of hazardous waste in cement kilns // Waste Management & Research . - 1989. - № 7 . -P. 351 - 361.
8. Крот О.П., Конєв В.В., Ровенський О.І. Експериментальні дослідження методів зменшення викидів від процесів термічного знешкодження побутових відходів // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. - Х.: «УкрДУЗТ», 2016. - №166 - С. 78-86.