



УДК 669.187.2.001.7

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УНИЧТОЖЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ И ДРУГИХ ОПАСНЫХ ОТХОДОВ. Часть I

**Б. Е. Патон, А. В. Чернец, Г. С. Маринский,
В. Н. Коржик, В. С. Петров**

Проанализированы проблемы, связанные с обращением и переработкой медицинских и других опасных отходов. Рассмотрены существующие пути их решения, наиболее эффективным из которых представляется применение плазменных процессов. Примеры использования различных технологий и оборудования плазменной переработки отходов свидетельствуют об их существенных преимуществах по сравнению с каноническими, в частности традиционным сжиганием. Показано, что новые процессы позволяют добиться комплексного (как с точки зрения высокой эффективности, так и экологической безопасности) решения проблем переработки/уничтожения отходов и могут быть рекомендованы в качестве одного из наиболее перспективных альтернативных путей совершенствования и развития технологий переработки медицинских и других опасных отходов.

Problems connected with disposal and recycling of medical and other dangerous waste are analyzed. Existing ways of their solution, among which the application of plasma technologies is most effective, are considered. Examples of application of different technologies and equipment of plasma recycling of waste prove their significant advantages as compared with canonic technologies, in particular using combustion. It is shown that the new processes allow complex solution of the problems of recycling and disposal of waste (both from the point of view of high efficiency and also ecological safety) and can be recommended as one of the most promising alternative ways of improvement and development of technologies of recycling of medical and other hazardous waste.

Ключевые слова: плазменная переработка отходов; медицинские отходы; плазматрон; утилизация; пиролиз; синтез-газ

Медицинские отходы. Современное состояние, технологии переработки, проблемы и возможные решения

Проблема эффективной переработки отходов приобретает все большее значение. Утилизация отходов всех категорий (от промышленных до бытовых) требует постоянного системного подхода. Свободного места на свалках остается все меньше, при этом захоронение далеко не всех типов отходов может быть экологически безопасно.

В соответствии с общепринятым понятием, опасными являются такие отходы (твердые или смесь), которые ввиду своей природы, концентрации химических или инфицирующих компонентов, а также физических факторов могут быть причиной повышения показателей смертности или увеличения час-

тоты серьезных и необратимых заболеваний, а также болезней, приводящих к инвалидности; в случае неправильной обработки, хранения, транспортировки, удаления, переработки создавать в настоящее время или в будущем потенциальную опасность для здоровья человека или для окружающей среды [1].

Одними из наиболее опасных являются отходы, производимые учреждениями здравоохранения. Так, Базельская конвенция 1992 г., установившая 45 видов опасных отходов, открывает их список именно клиническими отходами [2].

Проблема уничтожения медицинских отходов чрезвычайно актуальна сегодня для всех стран мира. В 1979 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), учитывая очень высокую опасность этой категории отходов, указала на необходимость создания специальных служб по их переработке.

Каждый год общее количество образующихся медицинских отходов в США составляет 3,2 млн т;

© Б. Е. ПАТОН, А. В. ЧЕРНЕЦ, Г. С. МАРИНСКИЙ, В. Н. КОРЖИК, В. С. ПЕТРОВ, 2005

во Франции — примерно 600 тыс. т, причем около половины из них составляют инфицированные отходы; в Китае — 650 тыс. т; в России — около 600... 1000 тыс. т [3–5].

При этом следует отметить и тот факт, что количество медицинских отходов имеет устойчивую тенденцию к интенсивному росту во всем мире.

Накопление отходов здравоохранения (килограмм на койку в сутки) в различных регионах мира, по данным ВОЗ, следующее [6–8]:

Северная Америка — 7... 10;

Латинская Америка — 3;

Западная Европа — 3... 6;

Восточная Европа — 1,4... 2,0;

Средний Восток — 1,3... 3,0;

Восточная Азия (развитые страны) — 2,5... 4,0;

Восточная Азия (развивающиеся страны) — 1,8... 2,2.

В настоящее время существует весьма значительное количество разнообразных классификаций медицинских отходов, которые можно разделить на следующие основные группы [1, 9].

А — неопасные: не имеющие контакта с биологическими жидкостями пациентов, инфекционными больными; нетоксичные отходы; пищевые отходы всех отделений, кроме инфекционных; неинфицированная бумага; строительный мусор и т. д.;

Б — опасные (рискованные): потенциально инфицированные отходы (материалы и инструменты, загрязненные биологическими жидкостями, в том числе кровью, выделения пациентов, патологоанатомические отходы, органические операционные, отходы инфекционных отделений и микробиологических лабораторий, работающих с 3- и 4-м классами патогенности, биологические отходы вивариев);

В — чрезвычайно опасные: все материалы, контактирующие с больными (носителями особо опасных инфекций), отходы микробиологических лабораторий, работающих с 1- и 2-м классами патогенности, фтизиатрических, микологических больниц, от пациентов с анаэробной инфекцией;

Г — по составу близкие к промышленным: просроченные лекарственные средства, цитостатики и другие химические препараты, ртутьсодержащие предметы и оборудование;

Д — радиоактивные.

По принятой на Западе классификации инфекционные отходы разделяют на десять основных категорий [10, 11].

Культуры и запасы инфицированных веществ и сопутствующие биопрепараты.

Анатомические отходы (или человеческие патологические отходы). Ткани, органы и части тела, включая жидкости организма, удаленные в процессе хирургии, аутопсии или других медицинских процедур.

Человеческая кровь, продукты крови, и другие физические жидкости. Выброшенные человеческая кровь, компоненты или продукты крови; предметы,

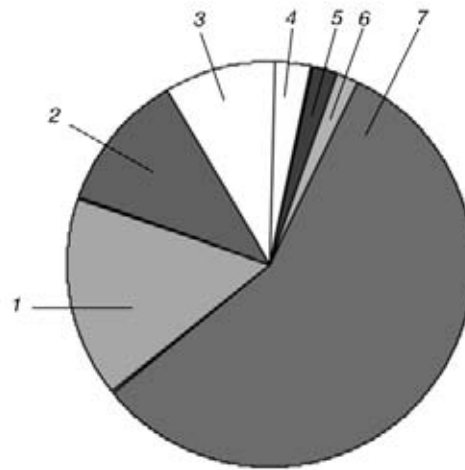


Рис. 1. Среднестатистическая структура отходов, образующихся в лечебных учреждениях [10]: 1 — медицинские, т. е. могущие служить источником инфекционных болезней; 2 — гофрированный картон; 3 — отходы пациентов; 4 — бумага; 5 — опасные, т. е. могущие привести к смертельному исходу или серьезным болезням; 6 — другие; 7 — общие твердые

насыщенные кровью, продуктами крови, жидкостями организма или затвердевшие с засохшей кровью.

Иглы, скальпели. Колющие, включая шприцы, пипетки, лезвия скальпелей, пробирки и иглы; битое или небитое стекло.

Отходы животных. Выброшенные материалы, включая скелеты, части тела, жидкости организма, кровь или подстилки животных, подвергавшихся воздействию инфекционных веществ.

Инфекционные отходы. Выброшенные материалы, загрязненные кровью, выделениями людей, изолированных для предохранения других от инфекционных болезней.

Загрязненное медицинское оборудование, контактировавшее с инфицированными веществами.

Операционные (хирургические) отходы. Выброшенные материалы, включая загрязненные перевязочные материалы, губки, защитные пленки, халаты, перчатки и т. д.

Лабораторные отходы, которые были в контакте с инфекционными веществами, такими как предметные стекла и покрытия.

Отходы диализа. Отбросы и оборудование, которые были в контакте с кровью пациентов, подвергавшихся диализу.

Потенциальными источниками отходов в здравоохранении могут являться учреждения лечебно-профилактические, скорой и неотложной медицинской помощи, судебно-медицинской экспертизы, санитарно-профилактические, станции переливания крови, микробиологические, биохимические и физические лаборатории, аптеки и медицинские училища, научно-исследовательские институты медицинского профиля, прочие медицинские учреждения.

Среднестатистическая структура отходов учреждений здравоохранения представлена на рис. 1.

Обращение с отходами учреждений здравоохранения из-за их специфического характера требует строгого системного подхода и должно предусматривать сбор, упаковку, хранение, транспортировку, переработку и удаление посредством таких способов, которые на всех этапах позволяют свести к минимуму опасность для здоровья персонала, занимающегося переработкой, населения в целом и окружающей среды.

Способы обработки отходов здравоохранения в соответствии с данными работы [1], можно разделить на две основные группы: ликвидационные (захоронение, обеззараживание химическими или физическими способами и складирование на полигонах твердых бытовых отходов (ТБО), сжигание с последующим захоронением остатков от сжигания и др.) и утилизационные, предполагающие использование повторное или в качестве вторичного сырья.

С учетом высокой опасности медицинских отходов ликвидационные способы более предпочтительны. При этом существует два основных требования, без учета которых не разрабатывается ни одна система обезвреживания и уничтожения отходов: невозможность повторного использования отходов и надежная их дезинфекция. Выполнение первого предполагает изменение внешнего вида того или иного отработанного материала, подлежащего уничтожению. Особую проблему здесь представляют такие предметы, как иглы, скальпели, предметные стекла, лабораторная посуда — чрезвычайно опасные в плане травматизма и распространения инфекции. Поэтому для этой категории отходов важно не только изменение внешнего вида, но и полное уничтожение с тем, чтобы они перестали быть опасными для окружающих.

Специфика медицинских отходов предопределяет невозможность применения таких общих правил работы с ними, как отдельный сбор различных видов отходов, предварительную сортировку, отбор части отходов. Кроме того, категорически запрещается смешивать медицинские отходы с бытовыми и захоранивать их на городских свалках.

Специфические свойства медицинских отходов формируют такие обязательные требования к технологиям их обработки, как дезинфекция; обеззараживание; минимизация объема и массы продуктов переработки; полная автоматизация и механизация переработки; защита обслуживающего персонала, гражданского населения близлежащих территорий и окружающей среды. Все эти требования приближают технологию переработки медицинских отходов к переработке органических промышленных и токсичных отходов.

Наиболее распространенным способом переработки (уничтожения) медицинских отходов в течение уже многих десятилетий является сжигание в мусоросжигательных печах с последующим захоронением остатков на специальных полигонах. Уровень применения таких технологий в разных странах различен. Так, из общих объемов бытового му-

сора доля сжигания в таких странах, как Австрия, Италия, Франция, Германия, колеблется от 20 до 40 %; Бельгия, Швеция — 48... 50 %; Япония — 70 %; Дания, Швейцария 80 %; Англия и США — 10 % [11].

Однако установки для огневого сжигания отходов, столь популярные до последнего времени в системах санитарной очистки западных стран, начинают пользоваться все меньшим спросом в мире. Применение этих установок приводит к значительному загрязнению воздушного пространства, поскольку они — главный источник диоксинов в окружающей среде, кроме того, производят золу, являющуюся потенциально опасной [1, 10, 12–17]. А самое главное, сжигание не гарантирует стопроцентного уничтожения токсичных составляющих отходов, имеются также очень серьезные ограничения, связанные с гетерогенностью отходов по составу.

В 1997 г. Агентство по охране окружающей среды (АООС) предложило новые инструкции для строящихся и существующих установок сжигания медицинских отходов. Требования АООС в значительной степени увеличивают стоимость этого процесса. Кроме того, работники предприятий, обслуживающих здравоохранение, исследователи, да и сами медики ищут альтернативные способы уничтожения отходов здравоохранения, а также новые пути избавления от скапливающихся отходов. При этом применяют самые современные технологии их сбора и удаления, что, с одной стороны, позволяет качественно улучшать существующие способы, а с другой, — создавать совершенно новые технологические цепочки.

В результате возрастающего внимания со стороны как государственных, так и негосударственных организаций к комплексному решению проблемы переработки медицинских отходов, усложнились процедуры получения разрешений на установку систем, обезвреживающих отходы. Увеличились цены на такие системы, затруднен вывоз отходов для уничтожения на определенных предприятиях и участились отказы органов санитарного контроля в выдаче разрешений на хранение и переработку любых видов медицинских отходов. Поэтому разработка альтернативных сжиганию технологий переработки отходов приобретает все большее значение.

Среди несжигающих процессов переработки отходов можно выделить четыре основных типа: тепловые; химические; облучающие и биологические. Используются также различные способы механической обработки отходов. Наиболее часто применяются первые два из указанных процессов.

Тепловыми называются процессы, основанные на использовании теплоты (тепловой энергии) для уничтожения инфекционной составляющей в отходах. Они подразделяются на низко-, средне- и высокотемпературные термические процессы.

В первых используют тепловую энергию для обеззараживания отходов при температурах, недостаточных для осуществления химического распада,



поддержания горения или пиролиза (от 90 до 180 °С). Двумя основными видами низкотемпературных тепловых процессов является дезинфекция влажным (пар) и сухим (горячий воздух) теплом. Влажная термообработка включает использование пара для дезинфицирования отходов и обычно осуществляется в автоклавах. Микроволновая обработка является по сути паровой дезинфекцией, поскольку вода добавляется в отходы, и дезинфекция происходит благодаря энергии микроволн. В сухих тепловых процессах ни воду, ни пар не добавляют. Вместо этого отходы нагреваются за счет теплопроводности, естественной или вынужденной конвекции, и/или теплового излучения с использованием инфракрасных грелок.

Среднетемпературные термические процессы происходят при 170... 370 °С и сопровождаются химическим распадом органических материалов. Они являются основой для относительно новых технологий. Процессы включают обратную полимеризацию с использованием высокоинтенсивной микроволновой энергии и тепловой деполимеризации, основанных на теплоте и высоком давлении.

Высокотемпературные термические процессы в основном осуществляются при температурах 540... 830 °С и выше. Источниками нагрева могут служить электрическое сопротивление, индукционный нагрев, энергия плазменной струи и пр. Высокотемпературные процессы сопровождаются химическими и физическими изменениями в органических и неорганических материалах, приводящих к полной деструкции отходов, а также значительными изменениями их массы и объема.

В химических процессах используются дезинфицирующие средства, такие как растворенная двуокись хлора, отбеливающее вещество (хлорноватисто-кислый натрий), надуксусная кислота или сухие неорганические химические вещества. Для усиления воздействия на отходы химических реагентов в данные процессы часто включают измельчение, размалывание или смешивание. В жидкостных системах отходы могут проходить обезвоживающую секцию для удаления и повторного использования дезинфицирующего вещества. Помимо химических дезинфицирующих, существуют и герметизирующие (капсулирующие) составы, с помощью которых производят капсулирование колющих предметов, а также отвердевание крови или других жидкостей организма в пределах твердой матрицы перед удалением. В одних разрабатываемых технологиях используют озон для переработки медицинских отходов, а в других — каталитическое окисление. В новых системах применяют щелочь для гидролиза тканей в нагретых резервуарах из нержавеющей стали.

В процессах облучения используются различные способы лучевого воздействия для уничтожения микроорганизмов в отходах, химической диссоциации и разрыва клеточных оболочек. Эффективность патогенной деструкции зависит от дозы, по-

ложенной массой отходов, которая в свою очередь связана с плотностью отходов и электронной энергией. Бактерицидное ультрафиолетовое излучение использовали как дополнение к другим технологиям очистки. Однако оно требует мощного источника излучения, а также специальных мер защиты обслуживающего персонала. Кроме того, возникает дополнительная проблема захоронения теперь уже облученных отходов. Облучение не изменяет отходы физически, поэтому требуется дробление или измельчение.

В биологических процессах используются ферменты для уничтожения органических веществ. На биологических процессах базировались только несколько известных из литературы технологий уничтожения медицинских отходов без сжигания.

Анализ технологий, используемых для переработки и уничтожения отходов, показывает, что термические процессы продолжают занимать ведущие позиции при обработке отходов. Одним из наиболее перспективных направлений представляется применение плазменных технологий.

Процессы переработки различных видов отходов с помощью плазмотронов стали реализовываться сравнительно недавно, однако анализ имеющихся данных свидетельствует о том, что многие из передовых стран ведут разработки именно в этом направлении [10].

Температура плазменной струи способна полностью разрушить любые органические и биологические материалы, уничтожить самые токсичные яды, переплавить и испарить наиболее тугоплавкие неорганические соединения, значительно сократить объем отходов в целом. Процесс плазменной переработки является экологически чистым, в газообразных продуктах отсутствуют смолы, фенолы и сложные углеводороды (диоксины и фураны), загрязняющие отходящие газы. Зола, удаляемая из реактора в жидком состоянии, безопасна при захоронении. Шлаковый расплав при выпуске можно гранулировать и направлять в строительство, а металл использовать для выпуска сплавов, лигатуры, рафинирующего передела. Кроме того, существует возможность получения экологически чистого синтез-газа, представляющего собой смесь водорода и оксида углерода, который является ценным энерге-

Экономические показатели различных способов обработки отходов

Способ обработки	Стоимость обработки, дол. США / т	
	минимальная	максимальная
Традиционное сгорание	100	140
Пиролиз, термолиз	90	150
Плазменный без генерации синтез-газа	100	120
То же, с генерацией синтез-газа	70	80

тическим сырьем, используемым в качестве дополнительного источника энергии непосредственно в агрегате переработки отходов или вне его.

В настоящее время предлагаются различные схемы использования плазменной дуги для переработки высокотоксичных отходов, созданы опытно-промышленные и промышленные агрегаты для их реализации.

Как показывает анализ, плазменные технологии более экономичны [18], по сравнению с другими способами (таблица).

Рассмотрим примеры использования плазменных процессов для уничтожения опасных медицинских отходов и их основные технико-экономические и экологические показатели в сравнении с каноническими процессами обработки отходов, в частности со сжиганием в мусоросжигательных печах.

Плазменные технологии переработки отходов

Фирмой «Plasma Energy Applied Technology Incorporated», Huntsville, AL, USA, предложен аппарат и способ обработки опасных и неопасных отходов, содержащих органические и неорганические компоненты [19, 20]. Аппарат включает плазменную систему нагрева и систему обработки газов, преобразующие отходы в твердую доброкачественную составляющую и пригодный к использованию газ.

Предложенная система обеспечивает обработку широкого спектра отходов по типу и составу, в том числе содержащих неравномерное количество и распределение влаги, без предварительной специальной сортировки. В ней обеспечивается постоянное поддержание высокой температуры в течение всего процесса обработки с целью гарантированного уничтожения всех комплексных органических ма-

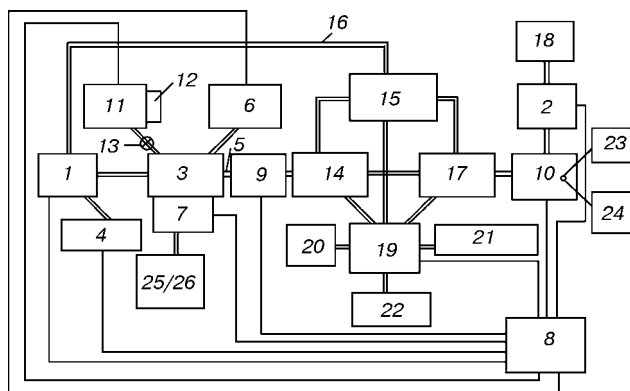


Рис. 2. Принципиальная схема аппарата фирмы «Plasma Energy Applied Technology Incorporated» для обработки опасных отходов [20]: 1 – система подачи; 2 – вытяжной вентилятор; 3 – рабочая камера; 4 – система дезинфекции; 5 – газоотвод; 6 – система плазменного нагрева; 7 – выпускное отверстие (клапан) стеклоподобного шлака; 8 – контроль и управление процессом; 9, 10 – соответственно первое и второе устройство контроля газа; 11 – система подачи окислителя; 12 – парогенератор; 13 – паровой клапан; 14 – охладитель газа; 15 – система переработки частиц; 16 – трубопровод; 17 – газоочиститель; 18 – система регенерации энергии; 19 – система обработки воды; 20 – подача воды; 21 – подача нейтрализующего (щелочного) агента; 22 – подача в коллектор; 23 – анализатор теплопроводности; 24 – инфракрасный анализатор; 25 – герметичный водный бак; 26 – система обработки твердого остатка

териалов, их переработки в отходящий газ, а также переплава всех неорганических отходов в твердые остатки, в соответствии с требованиями АООС.

Принципиальные схемы аппарата и системы подачи отходов и камеры обработки представлены на рис. 2 и 3.

Установка включает вертикальную камеру обработки отходов, представляющую собой плазменно-дуговую печь с футерованным огнеупором сосудом, как правило, цилиндрической формы. Сосуд спроектирован так, чтобы мог выдерживать температуру приблизительно до 1850 °С в восстановительной атмосфере. Он включает центральную цилиндрическую, верхнюю и нижнюю полусферические секции, собранные через фланцевые соединения для обеспечения герметичности конструкции. Подающая конвейерная труба как и система вентиляционных труб размещаются вдоль стенок центральной секции. Стандартный плазматрон установлен через наклонный проем-держатель, предусмотренный в центральной секции. Газоотвод или выпуск расположен в верхней секции камеры обработки. По системе газоотвода газ транспортируется к системе охлаждения с температурой примерно 875...1000 °С. Газоотвод должен обеспечивать герметичность и препятствовать воспламенению горячих газов. Он футерован огнеупорами для поддержания температуры газа выше 875 °С. Нижняя секция камеры об-

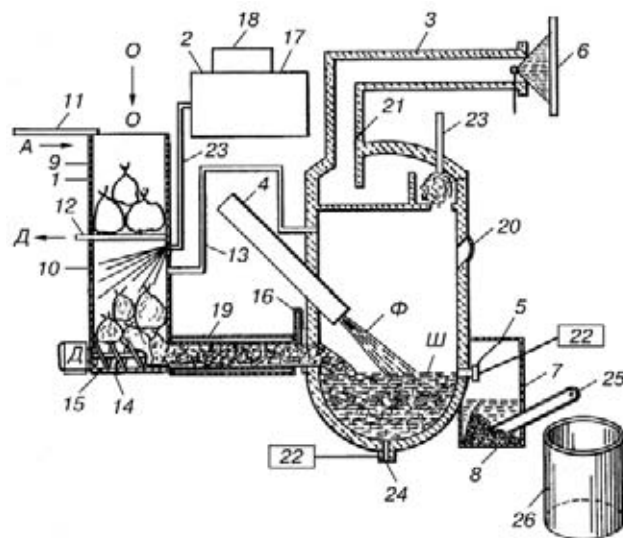


Рис. 3. Схематическое изображение подачи отходов и камеры обработки аппарата фирмы «Plasma Energy Applied Technology Incorporated» для обработки опасных отходов: 1 – система подачи; 2 – система дезинфекции; 3 – газоотвод; 4 – плазматрон; 5 – выпускное отверстие (клапан) стеклоподобного шлака; 6 – охладитель газа; 7 – герметичный водный бак; 8 – система обработки твердого остатка; 9 – загрузочный бункер (воронка); 10 – питающий бункер (бункерное загрузочное устройство); 11 – шлюзовая заслонка; 12 – шибберная шлюзовая заслонка; 13 – выпускная система; 14 – транспортный шнек; 15 – транспортная труба; 16 – водоохлаждаемый шибберный затвор питающих труб; 17 – подача дезинфицирующего раствора; 18 – насос; 19 – транспортная труба; 20 – смотровой канал; 21 – газовый клапан (выпускной); 22 – система позиционирования пробками; 23 – инжектор; 24 – нижнее выпускное отверстие; 25 – конвейер для перемещения твердого шлака в бункер для последующей транспортировки и удаления; 26 – бункер (резервуар-накопитель); Д – двигатель; Ш – шлак; Ф – плазменный факел; О – отходы

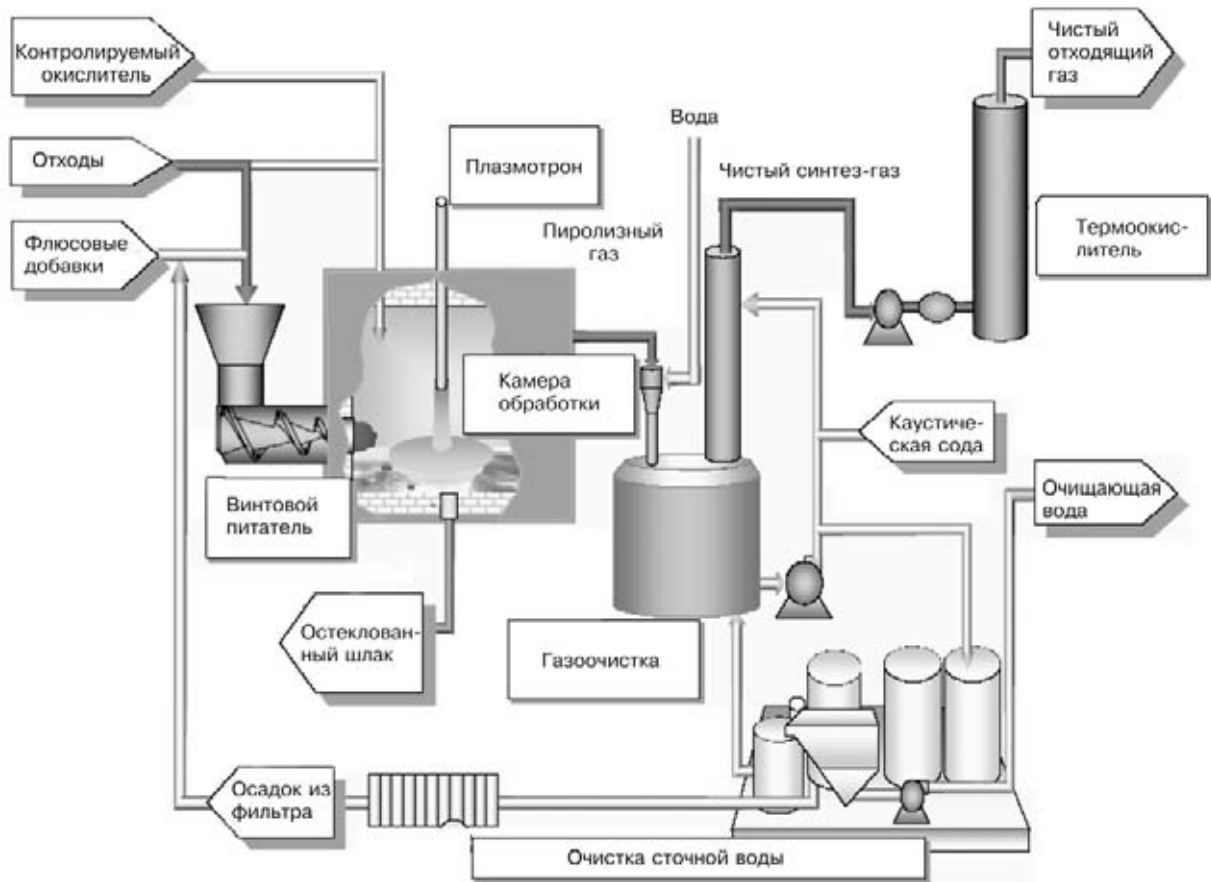


Рис. 4. Схема процесса PEPS®

работки включает желоб для выпуска стекловидного шлака, управляемый системой позиционирования желоба. Шлак формирует ванну III в нижней секции. Желоб имеет определенный диаметр, позволяющий выпуск стекловидного шлака переливом. Металлический остаток по мере накопления может отводиться через донный желоб, который позволяет освободить камеру.

Отходы вводятся в камеру обработки с управляемой скоростью подачи и нагреваются там плазменной дугой до значений температуры, близких к 1650 °С, с целью преобразования органической части отходов в газ, включающий водород, монооксид и диоксид углерода, а также углеродистые частицы. Неорганические компоненты отходов преобразуются при этом в расплавленный материал.

Подача материала в камеру обработки осуществляется путем введения отходов в расплавленный шлак, образующийся в нижней секции, а не в плазменный факел Ф. Подача отходов в шлак улучшает захват металлов в стекловидном материале и минимизирует их вовлечение в отходящий газ. В камере обработки отходы поглощают энергию конвекцией, проводимостью и излучением от плазменного пламени, нагретых огнеупорной футеровки и газов, циркулирующих в камере. С нагреванием органическая часть отходов становится все более неустойчивой, пока не диссоциирует на элементарные составляющие, преимущественно углерод и водород.

Кислород и галогены (если присутствуют в отходах) высвобождаются также. Время диссоциации различных материалов несколько отличается, но обычно составляет миллисекунды для большинства составов при 1100 °С. Высвобождаемый газ быстро увеличивается в объеме и движется из камеры в газоотвод, унося с собой часть чистых углеродистых частиц, образовавшихся при разложении отходов.

Отходящий газ выходит из камеры обработки с температурой 875... 1000 °С. Расплавленные материалы выводятся из камеры обработки и затем охлаждаются с образованием невывецаживаемого твердого шлака и металлической части.

В ходе обработки контролируется количество углеродистых частиц, вовлеченных в отходящие газы, а также отношение моно- и диоксида углерода в отходящих газах. При чрезмерном содержании углеродистых частиц в отходящих газах в камеру обработки вводят окислитель в количестве, необходимом для преобразования углеродистых частиц в монооксид углерода. Количество окислителя, вводимого в камеру обработки, контролируют посредством системы управления технологическим процессом с целью одновременного минимизирования образования диоксида углерода и обеспечения максимального преобразования углерода в газ. Для предотвращения появления комплексных органических соединений из отходящих газов система обработки отходов поддерживает температуру отходя-



Рис. 5. Передвижная установка PEPS®

щих газов на уровне 875 °С до тех пор, пока они не будут быстро охлаждены до температуры ниже 150 °С. В процессе охлаждения часть частиц отделяется от охлажденного газа. Далее кислотные газы в охлажденном отходящем газе нейтрализуются, оставшаяся часть частиц сепарируется, чтобы сформировать газ-продукт, состоящий в значительной степени из водорода и монооксида углерода. Сепарированные углеродистые частицы вводят в камеру обработки для дальнейшей обработки. Состав газа-продукта непрерывно проверяют для определения эффективности ввода окислителя.

Система предусматривает безопасную подачу отходов в камеру обработки и изоляцию их от окружающей среды. Процесс переработки полностью автоматизирован и контролируется специальной системой управления.

При мощности плазматронов 500 кВт система обрабатывает примерно 450 кг отходов в 1 ч. При

вдвое меньшей мощности плазматрона и пропорционально меньшей рабочей камере обрабатывается приблизительно 225 кг в 1 ч. Данные системы имеют мощности, необходимые для обеспечения потребностей больниц средних размеров. Региональный центр обработки, обслуживающий многочисленные больницы в большом городе, может использовать плазматроны мощностью 1000 кВт и обрабатывать приблизительно до 25 т отходов в день.

Указанная система свободна от множества недостатков известных систем и может использоваться для относительно полной и безопасной обработки всех медицинских отходов (опасных и неопасных, неорганических и органических компонентов медицинских отходов, содержащих изменяющееся количество влаги), удовлетворяя всем требованиям стандартов по количеству выделений в атмосферу и воду. Плазменная система нагрева сохраняет постоянной высокую температуру в камере обработки и управляет температурой отходящих газов для получения конечного продукта, содержащего минимально опасные составляющие. Система обработки отходов производит твердые остатки в виде стекловидного шлака и металлов в соответствии с экологическими критериями, которые могут использоваться повторно или даже многократно. Система эффективна для безопасного уничтожения химических ядов и т. п.

Фирмой «Vanguard Research, Inc. Fairfax», VA, USA предложена система плазменно-энергетического пиролиза (Plasma Energy Pyrolysis System)

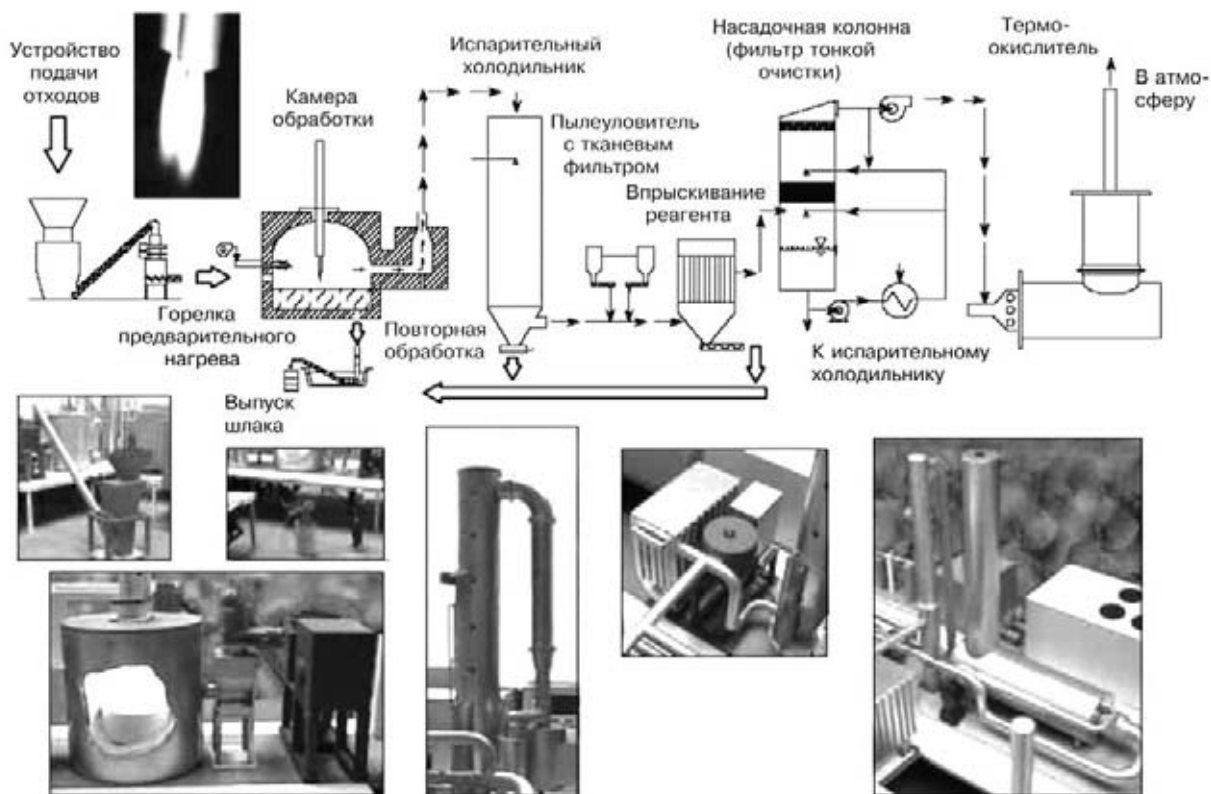


Рис. 6. Схема передвижной установки PEPS®

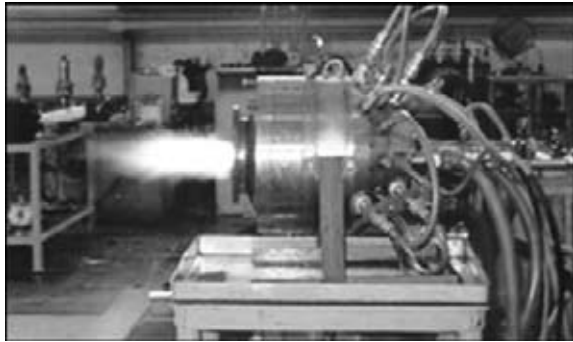


Рис. 7. Трехфазный плазмотрон со стержневым (проволочным) электродом в действии

PEPS® для переработки различных типов отходов, в том числе медицинских (рис. 4) [21].

При PEPS® используют управляемый пиролиз без сжигания с температурой примерно 1650 °С. В ходе процесса высокотемпературная плазма преобразует отходы в элементы (углерод, водород, кислород, азот), органические соединения (C_xH_y) — в синтез-газ, а неорганические составляющие переплавляются и переходят в невыщелачиваемый стекловидный шлак. Металлы могут быть также извлечены для повторного использования. Обедненная кислородом (восстановительная) атмосфера предотвращает горение и ограничивает объем опасных побочных продуктов (NO_x , SO_x , диоксины, фураны).

С использованием PEPS® могут быть обработаны электролитические шламы, медицинские отходы; абразивные отходы; пиротехнические заряды; жидкие органические вещества, отходы топлива и др.

Процесс PEPS® позволяет обеспечить полное уничтожение (разрушение) опасных компонентов — до 99,99999 %, при этом уровень выбросов гарантируется ниже установленного АООС. Полученный синтез-газ может быть использован для воспроизводства энергии. Не требуется предварительная сортировка отходов, допускается их гетерогенность по составу.

Демонстрационное предприятие PEPS® в Лортон, Вирджиния, эксплуатируется с 1998 г. и перерабатывает 10 т отходов в день. При этом мощность используемого плазмотрона составляет 500 кВт.

Разработан мобильный вариант оборудования (рис. 5, 6), позволяющего производить уничтожение отходов непосредственно в месте их производства.



Рис. 8. Электроды плазмотрона



Рис. 9. Различные плазмотроны переменного тока

Научно-производственный центр «Солитон-НТТ» и Институт проблем электрофизики (РФ) разработали перспективные плазменно-химические технологии для обработки отходов с использованием генераторов плотной плазмы с плазмотронами переменного тока (рис. 7–10) [18]. Технологии позволяют реализовать полное разрушение и утилизацию различных опасных отходов, а также и производить синтез-газ для энергетической генерации с помощью объединенных генераторов переменной частоты.

Создана и изготовлена опытная установка для плазменного уничтожения опасных медицинских отходов производительностью 5 т в день (рис. 11). Также могут быть изготовлены установки с намного большей производительностью.

Для плазменного сжигания медицинских отходов используют футерованную вращающуюся печь (рис. 12). Ее корпус установлен под углом к горизонту. При вращении сжигаемые отходы постоянно смешиваются, что способствует предотвращению сплавления или спекания в слое, а также интенсификации процессов тепло- и массообмена.

Отходы подаются в печь периодически в плоских коробах через систему лотков с помощью пневмотолкателя. Плазмтроны переменного тока, установленные в торцевой поверхности загрузочного устройства используются для начального нагрева печи при запуске и поддержания заданной температуры в процессе работы.

Температура топочных газов на выходе печи поддерживается на уровне 1000...1200 °С. Топочные газы идут в камеру дожигания с температурой

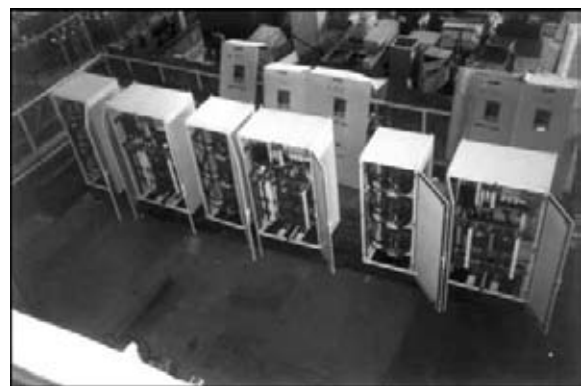


Рис. 10. Источники питания и шкафы управления

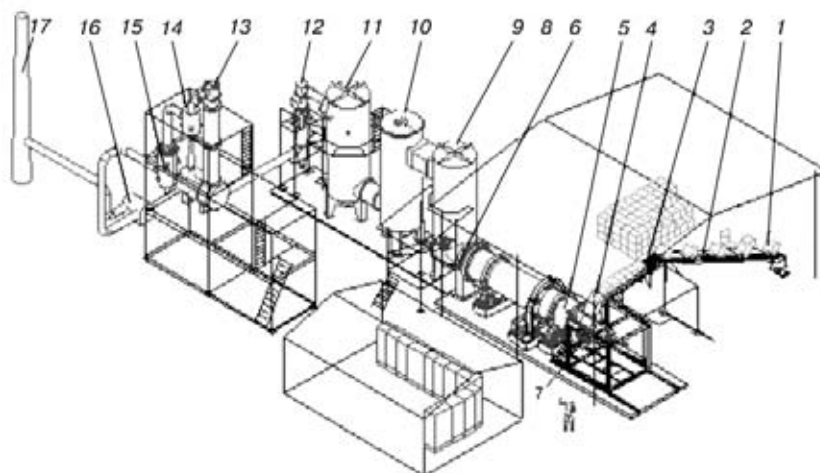


Рис. 11. Схема установки для плазменного уничтожения опасных медицинских отходов: 1 — бункер с отходами; 2 — ленточный транспортер; 3 — валковая мельница (вращающиеся цилиндры); 4 — загрузочное устройство; 5 — вращающаяся печь; 6 — камера сухой очистки (сухой скруббер); 7, 8 — плазмотроны; 9 — камера дожигания; 10 — устройство сухой очистки (сухой скруббер); 11 — охладитель (гаситель); 12 — теплообменник; 13 — устройство мокрой очистки (мокрый скруббер) с трубой Вентури; 14 — туманоуловитель; 15 — фильтр; 16 — нагнетатель; 17 — вытяжная башня (дымовая труба)

1200... 1400 °С. Время выдержки составляет примерно 2 с, что достаточно для эффективного обеззараживания всех токсичных органических продуктов, включая и галогенсодержащие. Плазмотрон также сохраняет температурный режим в камере сжигания. Затем топочные газы подаются в сухой скруббер, где происходит их резкое охлаждение с целью предотвращения вторичного формирования токсичных выбросов. Одновременно происходит процесс разложения оксида азота, для чего подается водный раствор мочевины.

Перед обработкой топочных газов их температура уменьшается сначала в охлаждающей жидкости (гасителе) за счет инъекции воды, а затем в теплообменнике, передающем часть теплоты холодному воздуху, используемому в технологических целях.

Способ влажной газоочистки выбран для выхода топочных газов из зольной пыли, сажи, тяжелых металлов и кислотных газов. Процесс про-

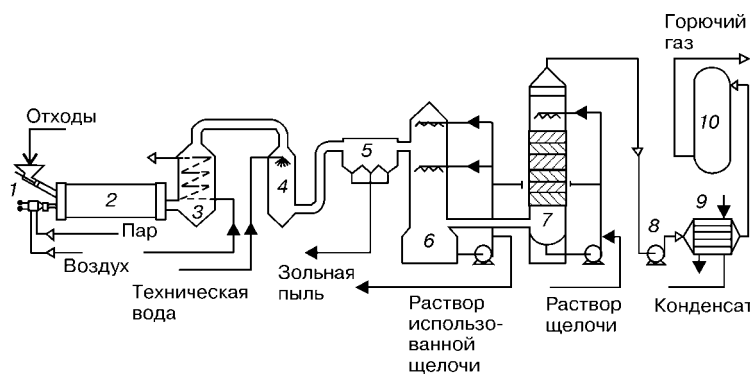


Рис. 13. Схема плазменной пиролизной обработки твердых бытовых отходов: 1 — плазмотрон; 2 — вращающаяся печь; 3 — котел; 4 — охладитель; 5 — мешочный (рукавный) фильтр; 6, 7 — скрубберы; 8 — компрессор; 9 — холодильник; 10 — газохранилище (газгольдер)

исходит во влажном скруббере с использованием трубы Вентури, объединяющем несколько стадий газоочистки. Раствор натрия Na_2CO_3 используется как распыляющий раствор.

Туманоуловитель спроектирован на выходе влажного скруббера с трубой Вентури для очистки топочных газов от тонкой пыли, аэрозолей, остатков кислотных газов и улавливания капель нейтрализующего раствора. В ходе газоочистки от соединений тяжелых металлов и диоксинов используется процесс адсорбции на активированном угле. Затем топочные газы разбавляют нагретым воздухом и удаляют в атмосферу через вытяжную башню (дымовую трубу).

Разработан проект опытной установки для обработки 15 т твердых отходов в день с производством синтез-газа для генератора мощностью

15 МВт (рис. 13).

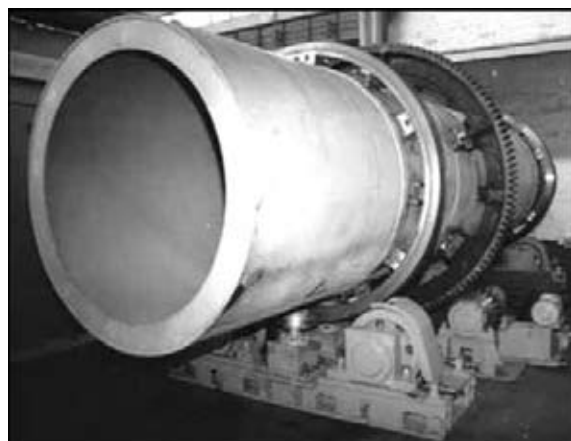


Рис. 12. Корпус футерованной вращающейся печи

Технология базируется на термическом воздействии на поступающие отходы в газовую среду с дефицитом кислорода. В ходе обработки отходы сепарируются на органические и минеральные, а затем органические компоненты газифицируются. Образовавшиеся зольные остатки удаляются и могут либо использоваться в строительстве, либо размещаться традиционно (захораниваться) с уменьшением объема в 50... 400 раз. Низкое содержание кислорода в реакционной зоне приводит к неполному окислению горючих элементов. Топочные газы после реактора охлаждаются, формируя синтез-газ — ценный химический и энергетический продукт.

Процесс плазмопиролитического разрушения отходов реализован во вращающейся печи при температуре 1100... 1200 °С. Воздух, нагретый плазмотронами до 2000... 2500 °С (при необходимости, водя-



ной пар), подается в печь для преобразования ТБО в горючий газ. Тепловая энергия синтез-газа используется в котле, производящем водяной пар, для применения в установке, а также для поставки пользователям. Очищенный синтез-газ сжимается в компрессоре при давлении 0,3... 0,5 МПа и после охлаждения в холодильнике подается в газохранилище (газгольдер). Синтез-газ из газгольдера поступает к источнику питания для генерации электроэнергии и производства воды.

По сравнению с традиционным сгоранием, плазменно-химические установки имеют следующие преимущества: возможность регулирования температуры в основном реакторе от (1000 до 10 000 °С; глубокое разрушение отходов, что сопровождается одновременным уменьшением объема отработанных газов; многократное уменьшение массовых и габаритных характеристик реактора и установки по сравнению с традиционными печами; возможность полного автоматического регулирования процесса; минимальные затраты времени и средств для обслуживания высокотемпературных плазменных источников; более полное преобразование углерода в СО₂ или СО; получение побочной недорогой электроэнергии; безопасность побочных продуктов плазменной обработки и соответствие их экологическим стандартам.

1. *Отходы учреждений здравоохранения: современное состояние проблемы, пути решения* // Под ред. Л. П. Зуевой. — СПб, 2003. — 43 с.
2. *Базельская Конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением. Заключительный акт* // Программа ООН по охране окружающей среды. — Женева, 1989 — 98 с.
3. <http://ru.ruschina.net/news/ecol>.
4. <http://asozd.duma.gov.ru/intranet/kom13.nsf/1/11B3583664B3140BC3-256BF40041657F?OpenDocument>.
5. <http://www.tulane.edu/~greenclb/audit/medwaste.html>.
6. <http://www.dez.ru/info/expert/mir-ov/obosnovanie.html>.
7. *Региональные руководства по обращению с отходами здравоохранения в развивающихся странах: Док. регион. семинара ВОЗ по обращению с клиническими отходами* (Куала Лумпур, 28 нояб. — 2 дек. 1994 г.). — Куала Лумпур, 1994. — 215 с.
8. *Прюсс А., Тоуненд В. К.* Обращение с отходами здравоохранения: Практ. руковод. для обучения. — Женева, 1998. — 256 с.
9. *Русаков Н., Бормашов А.* Пять классов опасности // Медицинский вестник. — 2002. — 29 нояб.
10. *Non-Incineration medical waste treatment technologies* // A Resource for hospital administrators, facility managers, health care professionals, environmental advocates and community members. — 2001. — August (www.noharm.org).
11. *Guide for Infectious Waste Management*. — Washington, 1986. — 27 p.
12. *Современные решения по переработке твердых бытовых отходов* // Аналит. отчет Управления главгосэкспертизы России по Ставропольскому краю. — Ставрополь, 2004 (<http://www.stavexpert.ru/17.htm>).
13. *Allsopp M, Costner P, Johnston P.* Incineration and human health: State of knowledge of the Impacts of Waste Incinerators on Human Health / Greenpeace Research laboratories, University of Exeter: — Exeter, UK, 2001.
14. *Tangri N.* Waste incineration: A dying technology // Alliance for Incinerator Alternatives. — 2003.
15. *Resources up in Flames: The Economic Pitfalls of Incineration versus a Zero Waste Approach in the Global South* // Ibid. — 2004.
16. *Юфим С.* Типичные ошибки авторов проектов мусоросжигательных заводов // Городское управление. — 2000. — N 5. — С. 68–71.
17. *Юфим С.* Мусоросжигательные заводы — помойка на небе: Курс лекций. Вып. 2. Яды вокруг нас. — М., 1994 (<http://www.ecoline.ru/mc/books/yufit/index.html>)
18. <http://soliton.msk.ru/hazard.html>
19. *Pat. 5,534,659USA, A62D3/00.* Apparatus and method for treating hazardous waste / M. D. Springer, T. Barkiey, W. C. Burns. — Publ. 09.07.1996.
20. <http://www.peat.com>
21. <http://www.vrifix.com/peps/>

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона, НАН Украины, Киев

Поступила 06.04.2005