

# Очистка и переработка отходов

УДК 628.474:477

## Технологии утилизации медицинских отходов

**Карп И.Н., Васечко А.А., Алексеенко В.В., Сезоненко А.Б.**

*Институт газа НАН Украины, Киев*

Рассмотрена проблема утилизации потенциально опасных для окружающей среды медицинских отходов. Приведены современные методы и технологии утилизации отходов, описаны их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** утилизация отходов, газификация, пиролиз, инсинератор, диоксины.

Розглянуто проблему утилізації потенційно небезпечних для довкілля медичних відходів. Наведено сучасні методи та технології утилізації небезпечних відходів, описано їх переваги та недоліки.

**Ключові слова:** утилізація відходів, газифікація, піроліз, інсинератор, діоксини.

Одной из ключевых экологических проблем в Украине является накопление большого количества отходов. Многие виды отходов, в том числе относящиеся к опасным, вывозятся на полигоны захоронения твердых бытовых отходов, что ухудшает экологическую обстановку и приводит к отчуждению больших территорий. Большинство полигонов не соответствует элементарным санитарно-гигиеническим требованиям, при этом загрязнение окружающей среды продолжается с нарастающим эффектом.

К категории опасных отходов относятся медицинские, биоорганические, нефтешламовые и другие отходы, которые могут нанести вред здоровью человека или окружающей среде при их неправильном хранении, транспортировке и переработке. Особенно выделяются медицинские отходы, которые могут быть источником инфекционного и токсического загрязнения.

К медицинским отходам относятся перевязочные материалы, одноразовые шприцы, системы переливания крови и физрастворов, перчатки, зараженная кровь и т.д., которые образуются в больницах, поликлиниках, диспансерах, хосписах, медицинских НИИ, ветлечебницах, медицинских лабораториях, на станциях

скорой помощи и переливания крови и в других учреждениях. В Украине ежегодно образуется около 400 тыс. т медицинских отходов [1]. При этом их утилизация в большинстве случаев входит в обязанности персонала медицинских учреждений. Отходы медицинских учреждений приблизительно одинаковы и имеют сходную структуру (рис.1).

По степени эпидемиологической, токсикологической и радиационной опасности медицинские отходы в Украине условно разделяют на пять классов: I класс — неопасные отходы: пищевые отходы всех медицинских учреждений,

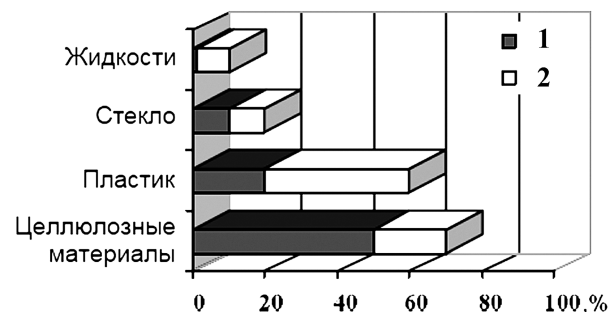


Рис.1. Типичный состав медицинских отходов: 1 — минимальное; 2 — максимальное содержание компонента.

кроме инфекционных и фтизиатрических, мебель, инвентарь, строительный мусор и т.п.; II класс — опасные отходы: потенциально инфицированные отходы, материалы и инструменты, загрязненные выделениями, в том числе кровью, органические операционные и патологоанатомические отходы и т.п.; III класс — чрезвычайно опасные отходы: материалы, контактирующие с больными особо опасными инфекциями, отходы фтизиатрических и микологических больниц и т.п.; IV класс — отходы, по составу близкие к промышленным: просроченные лекарственные средства и средства дезинфекции, отходы от лекарственных и диагностических препаратов, ртутьсодержащие предметы, приборы и оборудование, и т.п.; V класс — радиоактивные отходы: все виды отходов, содержащие радиоактивные компоненты.

Существует практика захоронения медицинских отходов непосредственно на территории медицинских учреждений. Отходы обрабатывают хлором и помещают в подземное хранилище из бетона, облицованное с внутренней стороны кафельной плиткой. Подобное обращение с медицинскими отходами не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям и является вторичным источником загрязнения окружающей среды.

Для сравнения: во Франции имеется 3650 больниц, в которых размещены 700 тыс. коек, из них общественных 70 % и частных 30 %. Ежегодное количество отходов, образующихся в результате деятельности всех больничных учреждений, составляет 600 тыс. т. К примеру, в Парижском регионе насчитывается 45 больниц с годовым накоплением отходов 60 тыс. т [2].

Согласно французским санитарным правилам, медицинские отходы делятся на инфицированные и неинфицированные. Утилизация неинфицированных отходов осуществляется совместно с муниципальными отходами. Инфицированные отходы транспортируются в специальных контейнерах, под строгим контролем и должны сжигаться в сроки, не превышающие 48 ч. Инфицированные отходы составляют около половины всех медицинских отходов, при этом в 80 % случаев больницы сжигают их на своей территории, остальные учреждения направляют свои инфицированные отходы в печи других медицинских учреждений [2].

При прямом сжигании медицинских отходов происходит выделение диоксина, которое составляет 590 нг/кг в ТЕQ (Toxicity Equivalency) — токсичный эквивалент вещества, выраженный через токсичность 2,3,7,8-ТХДД (тетрахлордibenзо-*p*-диоксина), взятого в экви-

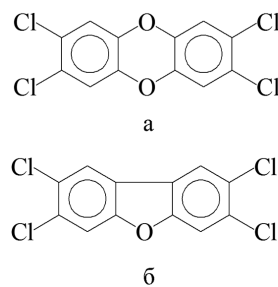


Рис.2. Молекулы: а — диоксина (2,3,7,8-тетрахлордibenзо-*p*-диоксин; б — фурана (2,3,7,8-тетрахлордibenзофуран).

валентном по токсичности количестве [3]. Для сравнения при сжигании бытового мусора эта цифра составляет 38 нг/кг ТЕQ [4].

Диоксины представляют собой широкую группу би- и трициклических галогенированных соединений (рис.2). Общую структуру диоксинов составляют два ароматических кольца, связанных между собой двумя кислородными мостиками. Соединения, имеющие в основе только один кислородный мостик, составляют группу фуранов, которую также условно относят к диоксинам [3, 5].

В большую группу диоксинов и диоксиноподобных соединений входят трициклические ароматические соединения (полихлорированные дibenзо-*p*-диоксины (ПХДД) и дibenзофураны (ПХДФ)) и ряд других веществ, содержащих в своей молекуле атомы хлора, в том числе и полихлорированные бифенилы (ПХБ).

Диоксин — кристаллическое вещество с высокой температурой плавления (305 °С) и очень низкой летучестью, плохо растворяющееся в воде и лучше в органических растворителях. Он отличается высокой термической стабильностью, разложение отмечается при нагревании до температуры выше 750 °С, а эффективно осуществляется при температуре свыше 1250 °С и выдержке более 2 с. Диоксин — вещество химически инертное, не разлагается кислотами и щелочами даже при кипячении [3, 6].

Отличительной чертой диоксинов и диоксиноподобных соединений является чрезвычайно высокая устойчивость к химическому и биологическому разложению. Они способны сохраняться в окружающей среде, концентрироваться в биомассе и переноситься по пищевым цепям. Диоксины и диоксиноподобные соединения являются супертоксикантами, универсальными клеточными ядами, поражающими все живые организмы [6].

Диоксин образуется при термическом разложении органических веществ с наличием хлора или хлорсодержащих веществ, которые присутствуют почти во всех компонентах медицинских отходов [3, 7].

Основными критериями при разработке и выборе оборудования для утилизации медицинских отходов могут быть следующие: состав отходов и их количество; безопасность и экологическая чистота метода; максимальное уменьшение объема отходов на выходе; полная обеззараженность остатка; возможность установки оборудования в максимальной близости от источников образования медицинских отходов; минимальные затраты на подготовительные работы; минимальные расходы на эксплуатацию.

Среди существующих установок для утилизации опасных отходов можно выделить такие основные группы: термические, химические, термохимические, паровые стерилизаторы и комбинированные.

Сегодня в экономически развитых странах опасные медицинские отходы утилизируют преимущественно термическим способом.

Термические установки можно разделить на две группы: установки прямого сжигания; установки контролируемого сжигания.

В установках прямого сжигания утилизация отходов происходит при их непосредственной термической обработке при температуре от 800 °С и выше без дожигания. В таких установках термические процессы неуправляемы, а в продуктах сгорания содержится большое количество загрязняющих веществ, в том числе недогоревшие частицы отходов, соединения серы и хлора, органические соединения: альдегиды, фенолы, эфиры, полициклические углеводороды, наиболее опасными из которых являются диоксины [8]. Установлено [9], что даже если диоксины будут уничтожены при высоких температурах, в отходящих газах на стадии их охлаждения происходят реакции повторного образования диоксинов. В установках прямого сжигания образуется токсичная зола (до 30 %), требующая захоронения, но уже на специальных полигонах для токсичных отходов [9].

В установках контролируемого сжигания (инсинераторах) утилизация отходов осуществляется в две стадии: термическое разложение отходов в первичной камере, которая реализуется в виде стационарной или вращающейся печи, при 750–900 °С; дожигание образовавшихся горючих продуктов во вторичной камере, которая выполняется стационарной, при 1100 °С и выше с последующей очисткой отходящих продуктов сгорания (рис.3).

Вращающиеся печи используются для непрерывной утилизации отходов с большой производительностью. Обычно установки контролируемого сжигания с вращающейся печью утилизируют отходы сразу нескольких медицинских учреждений.

Термические установки предполагают наличие системы очистки отходящих продуктов сгорания. Система очистки устанавливается в зависимости от существующих санитарно-гигиенических норм по выбросам в атмосферу, и ее стоимость может значительно превышать стоимость самой установки сжигания.

В процессе утилизации в установках контролируемого сжигания используется теплотворная способность непосредственно медицинских отходов. Горелки работают периодически, в основном для поддержания заданной температуры в камерах. При отключении подачи топлива воздух продолжает поступать на горелки для их охлаждения. В зависимости от количества загружаемых отходов и количества воздуха, поступающего на охлаждение горелок, в первичной камере могут происходить процессы газификации (при недостатке окислителя) и пиролиза (при отсутствии окислителя). В установках контролируемого сжигания также образуются диоксины, но в гораздо меньших количествах, чем в установках прямого сжигания [8, 10].

На мировом рынке в настоящее время предлагаются установки с двухстадийной схемой утилизации отходов: ATI Incinerateurs Muller (Франция), Pennram (США), Noval (Швейцария), Турмалин (Россия) и др.

Существуют установки контролируемого сжигания, в которых вместо теплоты продуктов сгорания топлива используется плазменный нагрев, электрический нагрев или нагрев инфракрасным излучением. В подобных установках также может происходить подсос воздуха в

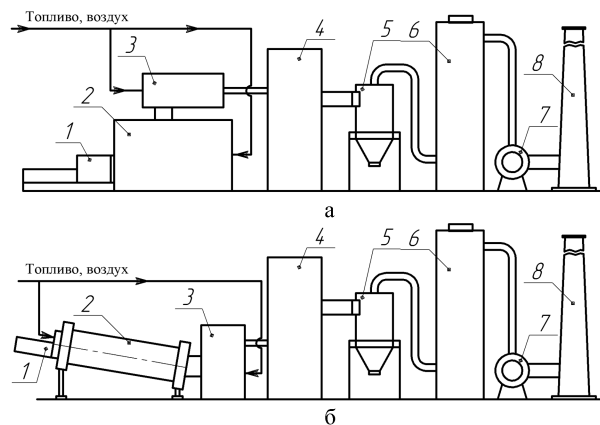


Рис.3. Схема установки контролируемого сжигания со стационарной (а) и вращающейся (б) камерами: 1 – система погрузки; 2 – первичная камера; 3 – вторичная камера; 4 – утилизатор теплоты отходящих продуктов сгорания; 5 – пылеуловитель; 6 – скруббер; 7 – дымосос; 8 – дымовая труба.

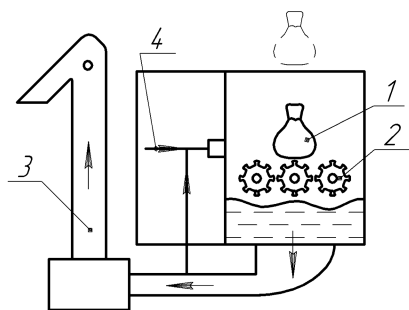


Рис.4. Химический утилизатор с измельчением отходов: 1 — отходы; 2 — измельчитель; 3 — выгрузчик; 4 — подача дезинфицирующей жидкости.

объем первичной камеры, что тоже становится причиной образования диоксинов [11, 12].

В химических утилизаторах Matrix (Австралия), Positive Impact Waste Solutions (США), Sterimed (Израиль) и др. отходы подвергаются воздействию обеззараживающих химических веществ, в результате чего утрачивают свою эпидемиологическую опасность (рис.4). Существует несколько способов обезвреживания отходов с помощью различных химических веществ, но очень часто получаемый продукт утилизации нуждается в дополнительной нейтрализации [13].

К достоинствам химических утилизаторов можно отнести сравнительно небольшие габариты оборудования и простоту эксплуатации. К недостаткам относятся необходимость постоянного использования дорогого запатентованного дезинфектанта, высокая влажность отходов на выходе, дороговизна вспомогательного оборудования и запасных частей. Кроме того, в химических установках нельзя утилизировать биологические, хирургические и патологоанатомические отходы [13].

В термохимических установках происходит нагревание отходов с обработкой их дезинфицирующими составами или другими химически активными веществами. Среди термохимических утилизаторов можно выделить установки с измельчением отходов с их одновременным нагревом за счет механического трения до опреде-

ленной температуры и впрыском химического раствора (утилизаторы Newster (Италия)) [13, 14], которые достаточно энергоемки, обладают достоинствами и недостатками химических утилизаторов, а также установки, принцип обеззараживания которых построен на свойстве микроволнового (сверхвысокочастотного) излучения нагревать воду (Meteka (Австралия), Sanitec (США)). В них залитые специальным раствором отходы нагреваются до температуры кипения воды под воздействием сверхвысокочастотного излучения и таким образом обеззараживаются [13]. Эти установки требуют дополнительного оборудования: измельчителя и сепаратора для удаления жидкости. Экономичность эксплуатации также вызывает сомнения из-за постоянной потребности в специальном растворе, которым заливаются отходы. Простое кипячение тех же самых отходов — абсолютно аналогичный процесс [13].

В паровых стерилизаторах для обработки медицинских отходов используют обычно насыщенный водяной пар при 130–140 °С (Steriflash (Франция), Baumet (Бразилия) и др.). Паровые стерилизаторы не уничтожают медицинские отходы, а только стерилизуют их, то есть в результате обработки отходы II и III классов переходят в I класс (неопасные) [13, 15]. Отличием этих установок от обычных стерилизаторов является наличие измельчителя для лучшего проникновения пара в отходы. К достоинствам такого оборудования относятся относительная дешевизна, практически полное отсутствие потребности в расходных материалах, простота эксплуатации. Несомненные минусы: невозможность обрабатывать значительные количества биологических, хирургических и патологоанатомических отходов, как и в химических и термохимических утилизаторах [13, 16].

В настоящее время существует более 40 комбинированных систем обработки медицинских отходов, производимых более чем семью десятками изготовителей в мире. Эти системы различаются по мощности, степени автоматиза-

### Характеристика некоторых установок утилизации медицинских отходов

Утилизатор	Метод утилизации	Производительность	Габариты и масса
CP (Muller)*	Термический (пиролиз, газификация)	10–120 кг/ч	В зависимости от мощности, 1,5–10 т
Sterimed-1	Химический (измельчение и обработка дезсредством)	15 мин/70 л	1,27 × 1,22 × 0,7 м, 600 кг
Newster-10	Термохимический (измельчение, нагрев и обработка дезсредством)	20 мин/130 л	350 × 80 × 150 м, 1020 кг
УОМО-01/150	Термохимический (измельчение, нагрев воды микроволновым излучением)	60 мин/2 × 30 л	1,2 × 0,55 × 0,57 м, 1020 кг
Steriflash	Паровая стерилизация	20 мин/80 л	1,2 × 1,0 × 0,7 м, 320 кг

\* Утилизация любых медицинских отходов, в остальных случаях — больничных отходов (кроме биологических). В числителе — время дезинфекции, в знаменателе — объем загрузки.

ции и сокращению объема отходов, но все они используют один или несколько вышеперечисленных методов. Сравнительные характеристики некоторых типов наиболее распространенных утилизаторов приведены в таблице.

Таким образом, наиболее перспективной является технология утилизации медицинских отходов с помощью установок контролируемого сжигания. Эти установки универсальны и уничтожают все виды медицинских отходов, кроме ртутисодержащих и радиоактивных. Установки контролируемого сжигания позволяют утилизировать большое количество медицинских отходов при минимальных выбросах загрязняющих веществ в окружающую среду и с образованием наименьшего количества твердого зольного остатка, не представляющего опасности для окружающей среды.

Утилизация медицинских отходов является процессом дорогостоящим, поэтому для комплексного решения данной проблемы необходимы государственные программы и бюджетное финансирование, поскольку сами медицинские учреждения не имеют достаточно средств и возможностей для приобретения подобного оборудования.

### Список литературы

1. Попович О.Р., Ятчишин Ю.Й., Мальований М.С. та ін. Проблема утилізації небезпечних медичних відходів (на прикладі України та Польщі). — Львів : Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2008. — 5 с.
2. Отходы учреждений здравоохранения : Современное состояние проблемы, пути решения / Под ред. Л.П.Зуевой. — СПб, 2003. — 43 с.
3. Федоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность : Ретроспектива и перспективы. — М. : Наука, 1993. — 226 с.
4. PA/600/P-00/001Ab. Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD) and Related Compounds. — Washington, DC, 2000. — 628 p.
5. Проданчук Н.Г., Чмиль В.Д. Химико-аналитические аспекты полихлорированных дибензо-пара-диоксинов и других стойких органических загрязнителей // Современные проблемы токсикологии. — 2006. — № 1. — С. 4–14.
6. Парфенюк А.С., Антонюк С.И., Топоров А.А. Диоксины : проблема техногенной безопасности технологий термической переработки углеродистых отходов // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2002. — № 6. — С. 40–44.
7. Милош В.В. Диоксины и их потенциальная опасность в экосистеме «человек — окружающая среда». — Молодечно, Беларусь, 2002. — 53 с.
8. Вишневский Е.П. Технология и оборудование экологически безопасного разложения отходов (многозонная инсинерация) // Журн. С.О.К. — 2004. — № 12. — С. 50–54.
9. Растишин С.А. Диоксины в небе — катастрофа на земле // Тверд. быт. отходы. — 2007. — № 1. — С. 32–35.
10. Константинова Т. Н. Утилизация медицинских отходов методом пиролиза // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Оптимизация обращения с отходами производства и потребления — 2003» (Ярославль, 15–16 апр. 2003 г.). — Ярославль, 2003. — С. 38.
11. Nema S.K., Ganeshprasad K.S. Plasma pyrolysis of medical waste // Facilitation Centre for Industrial Plasma Technologies, Institute for Plasma Research. Current Science. 10 August 2002. — Vol. 83, № 3.
12. EPA/540/A5-89/010. Shirco Infrared Incineration System. Applications Analysis Report. Cincinnati, OH: U.S. EPA Risk Reduction Engineering Laboratory, July 1989.
13. Якименко В.Б. Методы обработки медицинских отходов // Тверд. быт. отходы. — 2006. — № 12. — С. 8–16.
14. Чарнецкий А.Д., Кофман Д.И., Востриков М.М. Медотходы. Уничтожить в инсинераторах или обезвреживать в стерилизаторах? // Медтехника и медизделия. — 2006. — № 2. — С. 9.
15. Востриков М.М., Кофман Д.И. Обезвреживание медицинских отходов : стерилизация или уничтожение // Материалы конф. «Атоммед-2008», Москва, РФ, 2008. — С. 58–60.
16. Технические средства борьбы с внутрибольничной инфекцией и вторичными заражениями // Поликлиника. — 2008. — № 6. — С. 20–24.

Поступила в редакцию 15.10.10

## Medical Wastes Utilization Technology

**Karp I.N., Vasechko O.O., Aleksyeyenko V.V., Sezonenko A.B.**

*The Gas Institute of NAS of Ukraine, Kiev*

The problem of potential dangerous for environment medical wastes utilization is considered. Modern methods and technologies of hazardous wastes utilization are aduced, their advantages and disadvantages are described.

**Key words:** wastes utilization, gasification, pyrolysis, incinerator, dioxins.

Received October 15, 2010