

УДК 502/504

## **К вопросу предварительной оценки и методов снижения содержания диоксинов в отходящих газах установок термоокислительного обезвреживания медицинских отходов**

**Ладыгин К.В., Осветицкая Н.Д., канд. техн. наук Рахманов Ю.А.**

natalia-osvetitskaya@yandex.ru

Университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Рассмотрены методы оценки содержания диоксинов в отходящих газах установок термоокислительного (огневого) обезвреживания медицинских отходов с использованием методического Руководства по оценке существующей ситуации выбросов диоксинов (GEF UN). Приведены расчетные характеристики выбросов диоксинов в зависимости от реализуемой технологии огневого обезвреживания отходов и системы очистки отходящих газов.*

**Ключевые слова:** медицинские отходы, огневое обезвреживание, диоксины.

---

## **To the question a preliminary assessment and methods for reducing the presence of dioxins in the flue gas installations thermooxidizing decontamination of medical waste**

**Ladygin K.V., Osvetitskaya N.D., Rahmanov Ju.A.**

natalia-osvetitskaya@yandex.ru

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

9, Lomonosov Street, St Petersburg, 191002

*The methods of assessment of dioxins in the flue gas installations thermooxidizing (fire) decontamination of medical waste using a methodological guide for the assessment of the current situation of dioxin (GEF UN). The calculated characteristics of dioxin depending on the technology implemented fire and disposal of waste flue gas cleaning system.*

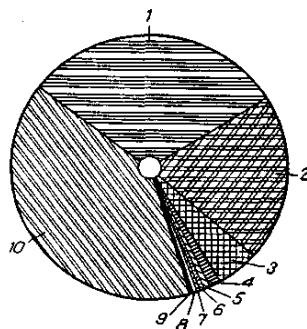
**Keywords:** medical waste, fire disposal of waste, dioxins.

---

Количество образующихся в результате деятельности лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) медицинских отходов (МО) составляет 2% от общего объема твердых бытовых отходов (ТБО). Системы сбора, удаления, переработки и обезвреживания медицинских отходов в России в настоящее время несовершенны. Количество медицинских отходов имеет устойчивую тенденцию к интенсивному росту.

Медицинские отходы считаются факторами прямого и опосредованного риска возникновения инфекционных и неинфекционных заболеваний в силу возможного загрязнения практически всех элементов окружающей среды: воды, воздуха почвы, продуктов питания, внутрибольничной среды, потенциально представляя эпидемиологическую опасность, поскольку содержат патогенные микроорганизмы и яйца гельминтов, а также могут быть загрязнены токсичными и радиоактивными веществами [1,2].

Морфологический состав (усредненный) отходов крупной больницы (стационара) представлен на рисунке 1.



**Рис. 1. Морфологический и структурный состав отходов крупного стационара**

1— пищевые отходы — 28%, 2 — бумага, картон — 23%, 3— полимерные материалы — 5%, 4 — гипс, строительные отходы — 0,9%, 5 — стекло — 0,6%. 6 — биологические материалы — 0,2%, 7 — резина — 0,1%, 8 — лекарственные средства и препараты — 0,1%, 9 — металл (в том числе цветной) — 0,1%, 10 — текстиль — 42%.

Все отходы здравоохранения разделяются, достаточно условно, по степени их эпидемиологической, токсикологической и радиационной опасности на пять классов опасности:

Класс А - эпидемиологически безопасные отходы, приближенные по составу к твердым бытовым отходам (далее - ТБО).

Класс Б - эпидемиологически опасные отходы.

Класс В - чрезвычайно эпидемиологически опасные отходы.

Класс Г - токсикологически опасные отходы 1 - 4 классов опасности.

Класс Д - радиоактивные отходы.

Элементарный состав отходов ЛПУ [1,2]:

Углерод	20,9 %
Водород	2,65 %
Кислород	14,14 %
Азот	0,83 %
Сера	0,08 %
Хлор	2,08 %

$$A^p = 10,4 \% \text{ (зольность)}$$

$$W^p = 48,94 \% \text{ (влажность)}$$

$$V_{л} = 76,2 \% \text{ (влажность)}$$

Одним из эффективных методов обезвреживания медицинских отходов классов А, Б, В, Г является термоокислительное (огневое) обезвреживание с последующим захоронением твердых остатков.

Сущность метода огневого обезвреживания заключается в сжигании горючих отходов или огневой обработке негорючих отходов высокотемпературными (более 1000°С) продуктами сгорания дополнительного топлива. Токсичные компоненты подвергаются окислению, термическому разложению и другим химическим превращениям с образованием безвредных газов (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>) и твердых остатков (оксидов металлов, солей).

Недостатком метода огневого обезвреживания является наличие супертоксикантов – диоксинов (полихлорированных производных дибензодиоксинов (ПХДД) и фуранов (ПХДФ)) как в отходящих дымовых газах, так и в твердых остатках (золе) [3].

Образованию диоксинов способствуют следующие факторы:

1) присутствие даже небольшого количества хлора (6-7%) в медицинских отходах (чаще всего гипохлорит натрия, который используют как дезинфицирующее средство);

2) присутствие металлов, таких как медь, железо, цинк, которые выступают в качестве катализаторов реакции; в связи с этим важно отметить, что печь для сжигания отходов и внутренняя поверхность дымохода строятся из кирпича или металла, например, оцинкованного железа или нержавеющей стали;

3) в результате неполного сжигания отходов образуются мелкие частицы и другие продукты неполного сгорания, некоторые из которых выступают в качестве исходных материалов в образовании диоксинов;

4) область температур, при которой образуются диоксины примерно от 450°C до 250 °C; чем дольше газ поддерживается в этой амплитуде, тем большее количество диоксинов образуется.

Таким образом, снизить содержание диоксинов в продуктах огневого обезвреживания можно путем организации рациональной технологии огневого обезвреживания, системы очистки газовых выбросов и нейтрализации твердого остатка.

Содержание диоксинов в отходящих газах установок по сжиганию отходов в соответствии с экологическими стандартами Евросоюза не должно превышать 0,1 нг эквивалента токсичности (ЭТ) смеси полихлорированных бифенилов, дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов на 1 м<sup>3</sup> отходящих газов [6]. Предельно допустимые концентрации диоксинов в атмосферном воздухе не должны превышать 0,5 пг/м<sup>3</sup> [3].

Определение количественного содержания диоксинов в отходящих газах связано с большими методическими и техническими трудностями ввиду их чрезвычайно малых концентраций, а также необходимостью определять весь класс диоксинов, отличающихся по токсичности. Анализы содержания диоксинов очень дороги, трудоемки и продолжительны по времени. Их стоимость по данным Национального агентства по токсичным отходам может достигать 800-1200 долларов за анализ отдельного биологического объекта, до 10000 долларов за проведение всестороннего анализа выбросов от мусоросжигательных установок.

В связи с этим для проведения расчетов количественного содержания диоксинов в отходящих газах установок огневого обезвреживания медицинских отходов целесообразно использовать методическое «Руководство по оценке существующей ситуации выбросов диоксинов, разработанное в рамках проекта Программы Развития Организации Объединенных Наций и Глобального Экологического фонда «Демонстрация и содействие введению лучших практик и методов управления отходами здравоохранения во избежание выбросов диоксинов и ртути в окружающую среду»» [4]. Используемые при этом расчетные методики позволяют вносить уточнения, учитывающие данные последних исследований.

Годовое количество выбросов диоксинов выражается формулой:

$$M_d = (K_9^a + K_9^{ocm}) \cdot G_{om} \text{ [мкг I-TEQ/год]}$$

где  $K_3^a$ ,  $K_3^{ост}$  – коэффициенты эмиссии выбросов диоксинов в атмосферу и в остатках, принимаются в зависимости от типа, состава и режима работы установки огневого обезвреживания МО, мкг I-TEQ/т;

$G_{от}$  – годовое количество обезвреживаемых отходов, т/год;

I-TEQ – Международный эквивалент токсичности диоксинов.

Содержание диоксинов в отходящих газах:

$$X_2 = K_3^a \cdot 10^3 / V_2 \text{ [нг/м}^3\text{]}$$

где  $V_г$  – количество отходящих газов, образующееся при огневом обезвреживании 1 т отходов, м<sup>3</sup>/т.

В нижеприведенной таблице представлены расчетные характеристики выбросов диоксинов от установок, реализующих наиболее распространенные и перспективные методы огневого обезвреживания медицинских отходов и системы очистки отходящих газов.

Расчеты выполнены для годового расхода обезвреживаемых отходов - 600 т/год, часовых производительностей установок по сжиганию отходов – 100 кг/ч и 500 кг/ч. Удельное содержание диоксинов в отходящих газах ( $X_г$ ) и их максимальная концентрация в атмосферном воздухе ( $C_м$ ) рассчитывались на основе вышеприведенного элементного состава отходов, методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД 86) для высоты дымовой трубы 20 м и содержания кислорода в отходящих газах, равном 11%.

**Таблица. Определение концентрации диоксинов в зависимости от способа обезвреживания**

Метод сжигания	$K_3^a$ (воздух)	$K_3^{ост}$ (остатки)	Выброс диоксинов $X_г$ , нг/м <sup>3</sup>	Пр-ть установки, кг отходов/ч	Мах концентрация диоксинов $C_м$ , пг/м <sup>3</sup>
Однокамерная печь без камеры дожига	5900	200	952,87	100	57
Двухкамерная печь с камерой дожига (1 с)	3500	64	565,26	100	35
Вращающаяся печь, 700°С, 1 с	1000	300	161,5	500	10,87
Двухкамерная печь, 2 с, с циклонным сепаратором	270	920	43,6	100	2,71
Вращающаяся печь, 900°С, 3 с, min контроль загр.	130	60	20,9	500	1,42
Двухкамерная печь, 2 с, с сухим скруббером	77	920	12,43	100	0,77
Двухкамерная печь, 2 с, с влажным скруббером	13	64	2,1	100	0,13

Регулируемое сжигание опасных МО с хорошим контролем загрязнения воздуха	10	450	1,62	100	0,1
Высокотехнологичная печь для сжигания патологических отходов с контролем загр.	4	28	0,64	100	0,04
Двухкамерная печь, 2 с, с сухим скруббером и АУ	2	150	0,32	100	0,02
Высокотехнологичная печь (2 с) с высокой турбулентностью, 850/1000°C, с контролем загр.	1	150	0,16	100	0,01
Высокотехнологическое сжигание опасных отходов с контролем загрязнения воздуха и показывающее соответствие предельным значениям	0,75	30	0,12	100	0,0074

Полученные результаты позволяют оценить целесообразность применения того или иного метода огневого обезвреживания отходов и системы очистки с точки зрения снижения выбросов диоксинов и уменьшения их концентрации в атмосферном воздухе.

Термодинамические и кинетические исследования, проведенные в Институте механики Ур О РАН [6,7], показывают, что образование диоксинов происходит в зоне непосредственного огневого обезвреживания отходов – в зоне нагрева исходных веществ и продуктов обезвреживания, после этого в зоне достижения максимума температур их концентрация снижается и снова происходит образование в зоне охлаждения отходящих газов.

Для предотвращения образования диоксинов в зоне максимальных температур процесс должен осуществляться при температурах выше 1150-1300 К в течение не менее 2-ух секунд при 6% избытке кислорода в газовой смеси, в зоне охлаждения отходящих газов в интервале температур 500-800 К, время пребывания должно быть не более 1 секунды. Последнее может решаться за счет мокрой очистки отходящих газов в скруббере с использованием щелочного раствора.

Снизить содержание диоксинов в отходящих газах можно также путем использования активированного угля (АУ), впрыскиваемого в поток дымовых газов с последующим улавливанием в рукавном фильтре или установки специальных слоевых фильтров с АУ, что позволит снизить выбросы диоксинов ниже 0,1 нг/нм<sup>3</sup> I-TEQ. Содержание диоксинов в газах невелико, поэтому заменяют АУ редко, а отработанный АУ можно сжигать вместе с отходами.

### Литература:

1. Абрамов В.Н., Разяпов А.З. Комплексный подход к системе удаления отходов лечебно-профилактических учреждений. ж. Чистый город № 2, 1998 г.
2. Орлов А.Ю. Обоснование санитарно-химической опасности медицинских отходов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук, Москва, 2010 г.
3. Шелепчиков А.А. Загрязнения окружающей среды полихлорированными дибензо-*n*-диоксинами и диоксиноподобными веществами // <http://www.dioxin.ru/history/dioxin-info.htm>
4. Глобальный проект по медицинским отходам (GEF). Программы Развития ООН. Руководство по оценке существующей ситуации выбросов диоксинов // [http://www.lvif.gov.lv/uploaded\\_files/UNDP/Dokumenti/RU\\_Doc\\_02.pdf](http://www.lvif.gov.lv/uploaded_files/UNDP/Dokumenti/RU_Doc_02.pdf)
5. Национальное агентство по токсичным отходам // <http://npnato.ru/metody-obnaruzheniya-dioksinov/>
6. Петров В.Г., Трубачев А.В. Обезвреживание хлорорганических промышленных отходов без образования диоксинов. Вестник Удмуртского университета, 2012, выпуск 3, с 64-68.
7. Петров В.Г. Исследование термодинамики реакций полибромированных дибензо-*n*-диоксинов и дибензофуранов в установках по сжиганию отходов. Вестник Удмуртского университета, 2013, выпуск 1, с 22-27.
8. Бернадинер И. М. Диоксины и другие токсиканты при высокотемпературной переработке и обезвреживании отходов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - 47 с.

### References:

1. Abramov V.N., Razjapov A.Z. Kompleksnyj podhod k sisteme udaleniya othodov lechebno-profilakticheskikh uchrezhdenij. zh. Chistyj gorod № 2, 1998 g.
2. Orlov A.Ju. Obosnovanie sanitarno-himicheskoj opasnosti medicinskih othodov. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata medicinskih nauk, Moskva, 2010 g.
3. Shelepchikov A.A. Zagrzaznenija okruzhajushhej sredy polihlorirovannymi dibenzo-*p*-dioksinami i dioksinopodobnymi veshhestvami // <http://www.dioxin.ru/history/dioxin-info.htm>
4. Global'nyj proekt po medicinskim othodam (GEF). Programmy Razvitija OON. Rukovodstvo po ocenke sushhestvujushhej situacii vybrosov dioksinov // [http://www.lvif.gov.lv/uploaded\\_files/UNDP/Dokumenti/RU\\_Doc\\_02.pdf](http://www.lvif.gov.lv/uploaded_files/UNDP/Dokumenti/RU_Doc_02.pdf)
5. Nacional'noe agentstvo po toksichnym othodam // <http://npnato.ru/metody-obnaruzheniya-dioksinov/>
6. Petrov V.G., Trubachev A.V. Obezvrezhivanie hlororganicheskikh promyshlennyh othodov bez obrazovaniya dioksinov. Vestnik Udmurtskogo universiteta, 2012, vypusk 3, s 64-68.
7. Petrov V.G. Issledovanie termodinamiki reakcij polibromirovannyh dibenzo-*p*-dioksinov i dibenzofuranov v ustanovkah po szhiganiyu othodov. Vestnik Udmurtskogo universiteta, 2013, vypusk 1, s 22-27.
8. Bernadiner I. M. Dioksiny i drugie toksikanty pri vysokotemperaturnoj pererabotke i obezvrezhivanii othodov. - M.: Izdatel'skij dom MJeI, 2007. - 47 s.