ISSN: 0368–0797. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. Том 58. № 5. С. 352 – 358.
© 2015. *Кузнецов С.Н., Волынкина Е.П., Протопопов Е.В.*

УДК 669.184

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ АГРЕГАТЫ – ЭФФЕКТИВНЫЕ УТИЛИЗАТОРЫ ОПАСНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Кузнецов С.Н., *магистрант кафедры металлургии черных металлов*
Волынкина Е.П., *д.т.н., профессор кафедры теплоэнергетики и экологии* (ekaterina.volynkina@gmail.com)
Протопопов Е.В., *д.т.н., профессор кафедры металлургии черных металлов, ректор*

Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Органические отходы составляют основную долю всех опасных отходов. Особую опасность для окружающей среды представляют органические отходы, содержащие хлор. В мире основным методом уничтожения опасных органических отходов является высокотемпературное сжигание в специальных инсинераторах и во вращающихся цементных печах. Однако при сжигании существует опасность вторичного образования таких супертоксикантов, как диоксины и фураны. Выполненный сравнительный анализ условий образования диоксинов при сжигании отходов в инсинераторах, цементных печах и высокотемпературных металлургических агрегатах (кислородный конвертер) показал преимущества последних благодаря высоким температурам, интенсивному тепло- и массообмену, активной окислительной атмосфере, наличию высокоактивного основного шлака, быстрому охлаждению и дожиганию отходящих газов. Проведенные исследования содержания 17 изомеров диоксинов и фуранов в пыли отходящих конвертерных газов на сравнительных и опытных плавках с использованием отходов бумаги и пластмасс в условиях ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» показали, что их суммарная концентрация значительно ниже европейских стандартов для отходящих газов стационарных источников. При этом не установлено существенных различий в концентрациях и в изомерном профиле диоксинов и фуранов на сравнительной и опытной плавках.

Ключевые слова: опасные органические отходы, диоксины, сжигание, инсинератор, цементная печь, кислородный конвертер.

DOI: 10.15825/0368-0797-2015-5-352-358

Органические отходы составляют основную долю всех опасных отходов в мире. К опасным органическим отходам относятся: нефтесодержащие отходы (отработанные масла, нефтешламы и нефтезагрязненные грунты, отходы от зачистки нефтепромыслового и нефтеперерабатывающего оборудования, отработанные автомобильные фильтры), отходы химического и коксохимического производств, биологические и медицинские отходы, отработанные угольные и тканевые фильтры газоочистных установок и пр.

Особую опасность для окружающей среды представляют органические отходы, содержащие хлор. К хлорорганическим отходам относят широкую гамму веществ:

- хлорорганические полимеры (ПВХ, хлоропреновый каучук, хлорированные полиэфиры, полистиролы, полиамиды) отслуживших свой срок изделий;
- отработанные хлорорганические растворители;
- диэлектрики;
- пришедшие в негодность хлорорганические пестициды;
- неутилизируемые легкие фракции, кубовые остатки и смолы предприятий хлорорганического синтеза;
- сточные воды, образующиеся при производстве и применении хлорорганических продуктов.

Двенадцать особо опасных для человека хлорорганических веществ, являющихся стойкими органическими загрязнителями (СОЗ), запрещены к производству и использованию Стокгольмской конвенцией «О стойких органических загрязнителях». Это так называемая «грязная дюжина»: полихлорированные бифенилы (ПХБ), полихлорированные дибензо-п-диоксины (ПХДД), полихлорированные дибензофураны (ПХДФ), алдрин, диэлдрин, дихлор-дифенил-трихлорэтан (ДДТ), эндрин, хлордан, гексахлорбензол (ГХБ), мирекс, токсафен и гептахлор [1]. Хлорорганические соединения входят в состав твердых бытовых отходов (ТБО), например, в состав некоторых видов пластмасс и отходов лечебно-профилактических учреждений, подвергающихся дезинфекции хлорсодержащими дезинфицирующими растворами. Стойкие органические загрязнители являются высокотоксичными веществами для всех живых организмов, они аккумулируются в жировых тканях, являются канцерогенами, мутагенами, эмбрио- , нейро-, иммунотоксинами, негативно влияют на гормональную и репродуктивную системы, вызывают анемию, болезни печени и почек. Эти загрязнители не подвергаются биодеградации в окружающей среде, поэтому согласно Стокгольмской конвенции, ратифицированной Россией в 2011 г. [2], их захоронение на полигонах

запрещено. Отходы СОЗ подлежат сбору с целью последующей утилизации.

Основным методом уничтожения СОЗ в мире является высокотемпературное сжигание [3 – 6]. Как отмечается в работе [3], сжигание применимо для органических отходов практически всех видов, так как позволяет перевести основные элементы большинства органических соединений углерода, водорода, кислорода в безопасные для окружающей среды соединения CO_2 и H_2O, а при наличии хлора – в хлористый водород, утилизируемый в системе мокрой газоочистки. Однако для обеспечения полного разложения опасных органических соединений необходимо соблюдение целого ряда условий:

– температура сжигания не менее 1200 °С;
– время пребывания продуктов сгорания в камере не менее 2 с (правило двух секунд);
– избыток кислорода в зоне горения;
– быстрое охлаждение отходящих газов до температуры ниже 200 °С, при которой невозможно вторичное образование диоксинов.

Несоблюдение этих условий может привести к образованию в процессе сжигания полициклических ароматических углеводородов, многие из которых являются канцерогенами (например, бензапирен) и высотоксичных полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов.

За последние десятилетия технология сжигания отходов в мире проделала большой путь от открытого сжигания и простых мусоросжигателей, сильно загрязнявших окружающую среду, до современных, эффективных инсинераторов, оборудованных сложной системой очистки отходящих газов и обеспечивающих минимальные выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду.

В России в настоящее время производится несколько типов инсинераторов, которые предлагаются для сжигания различных видов твердых и жидких органических отходов, включая химические, медицинские, биологические отходы, нефтешламы, а также хлорорганические отходы, входящие в список СОЗ (например, ПХБ-масла, пестициды, гербициды). Инсинератор представляет собой камеру, футерованную кирпичом, снабженную горелкой, работающей на дизельном топливе или природном газе. В инсинераторах, как правило, используется двухступенчатая технология уничтожения отходов путем их сжигания при температуре 850 – 900 °С и дожигания образующихся газов при температуре 1100 – 1200 °С с последующей их механической и химической очисткой.

За рубежом для утилизации опасных органических отходов широко используют вращающиеся цементные печи. В 2003 г. в «Докладе первой сессии группы экспертов по наилучшим имеющимся методам и наилучшим видам природоохранной деятельности» ЮНЕП ООН [7] цементные печи рекомендованы для разложения ПХДД и ПХДФ. В цементных печах технологически возможно обеспечение указанных выше условий, обеспечивающих полное разложение органических соединений отходов, включая хлорорганические.

Известным международным документом, содержащим реестр данных о выбросах ПХДД и ПХДФ в различных технологических процессах, является «Методическое руководство по выявлению и оценке выбросов диоксинов и фуранов», разработанное ЮНЕП в рамках программы ООН по окружающей среде [8]. В этом руководстве указывается, что «ПХДД и ПХДФ могут поступать на сжигание с перерабатываемыми отходами, образоваться в процессе горения или по завершению процесса горения при охлаждении дымовых газов». В связи с этим, в работе [7] указывается на следующие первичные способы и меры оптимизации производственного процесса с целью сокращения образования ПХДД и ПХДФ:

– непрерывная подача топлива и отходов с регистрацией и учетом содержания тяжелых металлов, хлора, серы;
– обеспечение контроля материалов, загружаемых в печь;
– предварительная обработка отходов с целью обеспечения более однородной загрузки, что способствует эффективному сгоранию при более стабильных условиях (сушка, измельчение, перемешивание, размалывание);
– загрузка отходов в основную или во вторичную камеру в печах с предварительным прокаливанием или нагреванием (температура более 900 °С);
– отходы не подлежат загрузке вместе с сырьевой смесью, если они содержат органические вещества;
– стабилизация технологических параметров (постоянство свойств топлива, постоянная дозировка, избыток кислорода, контроль содержания оксида углерода (угарного газа));
– не допускается загрузка отходов на этапах пуска и остановки печи;
– быстрое охлаждение отходящих газов до температур ниже 200 °С.

Доказана возможность достижения за счет первичных мер на существующих установках содержания ПХДД в отходящих газах на уровне менее 0,1 нг/м^3, допускаемом европейскими нормами. Если все указанные способы не приводят к снижению показателя до уровня менее 0,1 нг/м^3, в работе [7] рекомендовано использовать в качестве вторичных мер совершенствование методов очистки отходящих газов от пыли, например, использование фильтров из активированного угля или избирательное каталитическое восстановление.

Однако технология производства цемента во вращающихся печах не может гарантировать полного разложения органических отходов. В цементных печах существует несколько температурных зон, непрерывно

переходящих друг в друга: зона подогрева (500 – 600 °С); зона кальцинирования (900 – 1200 °С); зона спекания (1450 °С); зона охлаждения (1000 – 1200 °С). Лишь одна из этих зон обеспечивает предотвращение образования ПХДД и ПХДФ, но при выдерживании временных условий. Однако именно это гарантировано быть не может, поскольку топочные газы последовательно проходят через все температурные зоны, причем время пребывания в каждой из зон вряд ли может быть точно выдержано из-за их непрерывности. Согласно нормативам Европейского Союза (НЕС) геометрия горячей зоны печи должна обеспечивать пребывание газов в зоне с температурой не ниже 850 °С в течение не менее 2 с (правило двух секунд) при концентрации кислорода не менее 6 %. Это очень жесткое требование выдержать непросто. Повышение выбросов наблюдается в начале работы печи, поэтому НЕС предусматривают начало пиролиза или сжигания мусора только после разогрева печи до 850 °С [7].

Высокотемпературные металлургические агрегаты (такие, как доменная печь или кислородный конвертер) обеспечивают более безопасное сжигание горючих компонентов отходов, чем инсинераторы или цементные печи. Инсинераторы и цементные печи не могут конкурировать с металлургическими агрегатами по условиям обезвреживания токсичных отходов: температуре свыше 2000 °С, активной окислительной или восстановительной атмосфере, интенсивному тепло- и массообмену, наличию высокоактивных основных шлаков, обеспечивающих связывание негорючего остатка от сжигания отходов и его остеклование. В таких условиях практически невозможно образование диоксинов. Кроме этого мощные металлургические агрегаты оснащены полным набором оборудования для улавливания и очистки выделяющихся газов (включая мокрую ступень газоочистки), а также имеют замкнутую систему водоснабжения.

В руководстве ЮНЕП по выявлению и количественной оценке выбросов диоксинов и фуранов [5] приведены значения эмиссии ПХДД и ПХДФ в различных технологических процессах (табл. 1).

Высокотемпературные металлургические агрегаты обеспечивают минимальные выбросы в атмосферу диоксинов и фуранов: на один-два порядка ниже, чем все известные наиболее современные агрегаты, используемые в настоящее время в мире для сжигания опасных органических отходов. При этом сжигание органических отходов в металлургических агрегатах обеспечивает дополнительный приход тепла и экономию традиционно используемых энергоносителей (кокса, угля, мазута, природного газа и пр.). Технологически в доменной печи возможно обезвреживание жидких и твердых органических отходов крупностью менее 100 мм, а в кислородном конвертере – твердых органических отходов крупностью 5 – 10 мм.

Рассмотрим технологическую возможность обезвреживания опасных органических отходов в кислородных конвертерах ОАО «ЕВРАЗ объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» («ЕВРАЗ ЗСМК»). Горение отходов протекает при следующих температурах:

– период нагрева лома – свыше 1000 °С;
– период заливки жидкого чугуна – свыше 1380 °С;
– период продувки – от 1440 – до свыше 2000 °С.

Сжигание отходов в конвертере происходит в атмосфере технически чистого (не ниже 99,5 %) кислорода, обеспечивающей высокую интенсивность процессов тепло- и массообмена, при которой происходят эффективное полное сгорание всех органических компонентов топлива и сырья и разрушение структурной решетки сложных органических соединений, в том числе и диоксинов.

Отходы находятся в конвертере в течение всего периода плавки, полное сгорание происходит при про-

Таблица 1

Эмиссия ПХДД и ПХДФ из различных источников

Table 1. **Emissions of PCDD and PCDF from various sources**

Источник	Эмиссия, мкг ТЭ/т продукта			
	в воздух	в продукт	в отходы	
			золу	шлак
Сжигание ТБО на мусоросжигательном заводе со сложной системой газоочистки	0,50	н.п.	15	1,5
Сжигание медицинских отходов в инсинераторах со сложной системой газоочистки	1,00	н.п.	150	–
Цементная печь	0,15 – 5,00	н.д.	0,003 – 1,0	–
Доменная печь	0,01	н.п.	–	н.п.
Кислородный конвертер	0,06	н.п.	–	1,5

Примечание: ТЭ – международный токсический эквивалент; н.п.– не переходит; н.д. – нет данных.

греве лома и последующей продувке. С самого первого момента поступления отходов в конвертер они находятся в тесном контакте с флюсами, основным из которых является известь. При продувке известь обеспечивает формирование основного кальцийсодержащего шлака. Наличие значительных количеств извести в конвертере способствует ускорению реакций разложения и окисления сложных органических веществ и разрушению диоксинов. Остатки от горения отходов переходят в расплавленный шлак, который поглощает все продукты горения, при последующем охлаждении остекловывается и не представляет опасности для окружающей среды.

Конвертеры оборудованы газоотводящими трактами, служащими для отвода, охлаждения, очистки и дожигания конвертерных газов. Отходящие из конвертера газы проходят котел-охладитель, где температура снижается до 850 °С, а затем направляются в первую ступень очистки – орошаемый газоход, где происходит дальнейшее охлаждение газов до 250 – 300 °С, грубая очистка и увлажнение их до полного насыщения. Насыщенные газы затем проходят *I* и *II* ступени прямоугольных труб Вентури, в которых происходит их основная очистка, и после каплеуловителя осушенные газы поступают в дожигающее устройство. Мокрая очистка отходящих газов обеспечивает высокую степень улавливания пыли – до 99,5 %. Оборотная вода мокрой системы газоочистки характеризуется значением pH на уровне 11 – 12 ед., что свидетельствует о высоком содержании в ней извести. Высокая щелочность оборотной воды способствует высокой эффективности улавливания хлорсодержащих газов (хлористого водорода, газообразного хлора) из отходящих конвертерных газов. Таким образом, в существующей системе газоочистки конвертеров имеются благоприятные условия для улавливания хлорсодержащих примесей из отходящих газов в тех случаях, когда они образуются, например, при попадании в отходы изделий из ПВХ или дезинфекции отходов хлорсодержащими дезинфицирующими препаратами.

В табл. 2 приведена сравнительная характеристика условий образования диоксинов в различных технологических процессах, используемых для сжигания опасных органических отходов: в инсинераторе, во вращающейся цементной печи, в высокотемпературном металлургическом агрегате.

При выплавке стали в конвертерном процессе обеспечиваются условия бездиоксиновой переработки отходов:

- высокотемпературный режим сжигания при температурах выше 1250 °С;
- интенсивный тепло- и массообмен;
- активная окислительная атмосфера с избытком технически чистого кислорода;
- высокоактивный жидкий шлак, поглощающий серо- и галогенсодержащие соединения, при затвердевании – остеклованный шлак;
- быстрое охлаждение дымовых газов в мокрой системе газоочистки до 40 – 60 °С;
- дожигание газов на факеле горелки с температурой 1500 °С.

Мокрая трехступенчатая очистка отходящих газов, обеспечивающая высокую (99,5 %) степень улавливания пыли и быстрое охлаждение газов до 40 – 60 °С, а также дожиг отходящих газов исключают возможность повторного синтеза диоксинов.

Таким образом, высокотемпературные металлургические агрегаты (в частности, кислородные конвертеры) являются наиболее безопасными из известных в настоящее время агрегатов для сжигания опасных органических отходов, в том числе хлорсодержащих.

В условиях ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» были проведены опытно-промышленные плавки с использованием специально подготовленных опытных партий твердых бытовых отходов: прессованных отходов бумаги, картона и полиэтилена; дробленых до крупности менее 20 мм корпусов электронной техники, состоящих из полистирола.

Опытные плавки проведены в ККЦ-2 на конвертере № 4 емкостью 350 т. Продувку опытных и сравнительных плавок проводили по действующей технологической инструкции. Расход ТБО составлял 1,0 – 8,8 кг/т стали. Установлено, что основные технологические параметры опытных и сравнительных плавок различались незначительно. Плавки с ТБО проведены практически без использования углеродсодержащих теплоносителей, при этом температура стали на повалке превышала температуру стали на сравнительных плавках. В результате выполненных расчетов материального и теплового балансов конвертерной плавки установлено, что при вводе в конвертер горючих компонентов ТБО с расходом 7,2 кг/т стали в конвертер дополнительно вносится 8338,1 кДж тепловой энергии, что составляет 4,21 % от общего прихода тепла.

Технология опытных плавок заключалась в подаче тюков прессованной бумаги и полиэтилена и мешков с дробленым полистиролом в конвертер в завалку совместно с ломом и флюсами (известь). После завалки проводили прогрев шихты путем сжигания отходов в струе технически чистого кислорода в течение 5 – 6 мин. Затем в конвертер заливали жидкий чугун и далее вели плавку обычным способом с продувкой расплава кислородом в течение 17 – 18 мин. и добавкой по ходу плавки флюсов.

Результаты промышленных испытаний подробно описаны в работе [9]. Основные технологические параметры опытных и сравнительных плавок различались очень незначительно. Отмечена более высокая температура стали на повалке на опытных плавках – 1706 и 1655 °С, на сравнительных плавках она составила 1619 – 1661 и 1629 °С соответственно, что свидетельствует о более высоких температурах в ванне в период плавки вследствие высокой теплоты сгорания отходов.

Таблица 2

Сравнительная характеристика условий образования диоксинов и технологических параметров агрегатов, используемых для сжигания опасных органических отходов

Table 2. **Comparative characteristics of the conditions for the formation of dioxins and technological parameters of units used for the incineration of hazardous organic wastes**

Технологический параметр	Условия образования диоксинов	Технологические агрегаты		
		инсинератор	цементная вращающаяся печь	кислородный конвертер
Способ загрузки отходов	Загрузка большими партиями	Загрузка большими партиями	Предварительная обработка отходов, обеспечивающая равномерную загрузку небольшими партиями	Загрузка отходов небольшими партиями с расходом 0,1 – 2,0 кг/т стали, что наряду с высокоинтенсивной кислородной продувкой обеспечивает хорошие условия тепло- и массообмена при их сжигании
Температура горения, °С	< 900	850 – 900	От 500 до 1450 (температурные зоны)	От 1440 до свыше 2000 (высокотемпературный режим сжигания)
Содержание O_2, %	Недостаток окислителя	21	21	99,5 (избыток кислорода, кислородное дутье)
Очистка отходящих газов	Пылеуловители, функционирующие при повышенных температурах (более 200 °С)	Сухая очистка, в отдельных случаях мокрая в скруббере с эффективностью очистки от пыли 93 %	Очистка в электрофильтрах	Мокрая трехступенчатая очистка, обеспечивающая высокую (99,5 %) степень улавливания пыли и быстрое охлаждение газов до 40 – 60 °С
Дожигание отходящих газов	Отсутствие	Дожигание на факеле горелки с температурой 1500 °С	Отсутствие	Дожигание на факеле горелки (свеча) с температурой 1500 °С
Образование золы/шлака		Зола	Зола	Высокоактивный жидкий шлак, содержащий более 50 % CaO, что создает хорошие условия для поглощения серы и галогенов. При затвердевании – остеклованный шлак.

Средняя запыленность отходящих газов после очистки составила 117 мг/м^3.

Аккредитованной лабораторией Башкирского регионального экологического центра (г. Уфа) по методике US EPA-1613, адаптированной к условиям РФ, выполнен анализ пыли на выходе потока газовых выбросов в опытных и сравнительных плавках на содержание диоксинов. Методика заключалась в экстрагировании диоксинов растворителями из объекта окружающей среды, выделении диоксинов из матрицы, очистки их от присутствующих примесей на сорбентах. Количественный анализ осуществляли методом изотопного разбавления с помощью хромато-масспектрометра высокого разрешения. В качестве внутренних стандартов использовали все 17 изомеров диоксинов и фуранов, меченных изотопом углерода C^{13}. Исследовали пять изомеров тетрахлордиоксинов – 1,3,6,8 – ТХДД, 1,2,3,4 – ТХДД, 1,2,3,7 – ТХДД, 2,3,7,8 – ТХДД, 1,2,3,9 – ТХДД. Результаты количественного изомерспецифического анализа полихлорированных дибензо-пара-диоксинов и дибензофуранов приведены в табл. 3.

По результатам исследований не установлено существенных различий ни в концентрациях, ни в изомерном профиле обеих проб. Суммарный коэффициент токсичности пробы TEQ (сумма приведенной токсичности всех изомеров) также различается незначительно.

Полученные экспериментальные данные по содержанию ПХДД и ПХДФ в пробах золы можно использовать для оценки загрязнения выбросов отходящих газов. Если принять, что проанализированные образцы являются осевшей пылью, выбрасываемой из трубы с топочными газами в атмосферу, то количество выбрасываемых диоксинов, связанных с частицами пыли, будет зависеть от концентрации взвешенных частиц в отходящих газах. Так, если концентрация взвешенных

Таблица 3

Концентрации изомеров и коэффициенты токсичности (TEQ-WHO) изомеров в пересчете на токсичность 2,3,7,8-ТХДД в соответствии с факторами эквивалентной токсичности (TEF) в уловленной пыли на опытной и сравнительной плавках

Table 3. **The concentrations and ratios of isomers toxicity (TEQ-WHO) based on the toxicity of 2,3,7,8-TCDD in accordance with toxicity equivalent factors (TEF) in the caught dust at the experimental and comparative heats**

Изомеры	Опытная плавка		Сравнительная плавка	
	Концентрация, пг/г пыли	TEQ-WHO, пг/г пыли	Концентрация, пг/г пыли	TEQ-WHO, пг/г пыли
2,3,7,8 – ТХДД	5,36	5,36	5,78	5,78
1,2,3,7,8 – ПнХДД	4,90	4,90	6,99	6,99
1,2,3,4,7,8 – ГкХДД	2,89	0,29	1,78	0,18
1,2,3,6,7,8 – ГкХДД	4,49	0,45	3,54	0,35
1,2,3,7,8,9 – ГкХДД	0,86	0,09	0,06	0,01
1,2,3,6,7,8 – ГпХДД	8,95	0.09	11,18	0,11
ОХДД	18,71	0,00	18,47	0,00
2,3,7,8 – ТХДФ	898,51	89,85	651,86	65,19
1,2,3,7,8 – ПнХДФ	262,34	13,12	247,41	12,37
2,3,4,7,8 – ПнХДФ	269,53	134,77	342,77	171,39
1,2,3,4,7,8 – ГкХДФ	86,53	8,65	96,35	9,64
1,2,3,6,7,8 – ГкХДФ	99,76	9,98	123,17	12,32
1,2,3,7,8,9 – ГкХДФ	6,61	0,66	8,46	0,85
2,3,4,6,7,8 – ГкХДФ	43,69	4,37	64,36	6,44
1,2,3,4,6,7,8 – ГпХДФ	54,50	0,55	50,58	0,51
1,2,3,4,7,8,9 – ГпХДФ	15,44	0,15	13,71	0,14
ОХДФ	18,80	0,00	16,35	0,00
Сумма ПХДД, пг/г пыли	**46,16**	**11,18**	**47,8**	**13,42**
Сумма ПХДФ, пг/г пыли	**1755,71**	**262,09**	**1615,02**	**278,82**
Сумма ПХДД и ПХДФ, пг/г пыли	**1801,87**	**273,27**	**1662,82**	**292,24**

частиц в отходящих газах составляет 117 мг/м^3, то суммарное содержание диоксинов и фуранов в отходящих газах опытной плавки составило 31,94 пг/м^3, сравнительной плавки – 34,40 пг/м^3. Следует отметить, что европейский стандарт для отходящих газов стационарных источников составляет 0,1 нг/м^3.

Выводы. Анализ условий протекания высокотемпературных технологических процессов в металлургических агрегатах и результаты проведенных исследований показывают, что высокотемпературные металлургические агрегаты являются на сегодняшний день наиболее безопасными для переработки опасных органических отходов, в том числе содержащих такие опасные для человека супертоксиканты, как диоксины или фураны, а также канцерогенные углеводороды, которые в значительных количествах образуются в процессе сжигания некоторых видов отходов даже на мусоросжигательных заводах и тем более при неорганизованном горении на свалках. Использование для переработки ТБО плавильных агрегатов черной металлургии может в значительной степени решить проблему утилизации опасных органических отходов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Текст Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях // UNEP/POPS/CONF. 2001. № 2. – 43 с.
2. О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях. Федеральный закон № 164-ФЗ: принят Гос. Думой 27 июня 2011 г. Электронный ресурс. – Режим доступа: http://www.rg.ru/2011/06/29/konvenciya-dok.html. (Дата обращения 14.01.2015).
3. Доусон Г., Мерсер Б. Обезвреживание токсичных отходов / Сокр. пер. с англ. В.А. Овчаренко. – М.: Стройиздат, 1996. – 288 с.
4. Крайнов И.П., Скоробогатов В.М. Технологии уничтожения стойких органических загрязнителей // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2002. № 4. С. 45 – 57.
5. Orris P., Chary L.K., Perry K., Astury J. Persistent organic pollutants (POPs) and human health. – Washington: WEPHA, 2000. – 38 p.
6. Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов / Под ред. Ю.А. Бирмана, Н.Г. Вурдовой. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2002. – 296 с.

7. Доклад сопредседателей Группы экспертов по наилучшим имеющимся методам и наилучшим видам природоохранной практики. Программа ООН по окружающей среде. 5 января 2005 г. Электронный ресурс. – Режим доступа: http://mognovse.ru/loo-organizaciya-obedinennih-nacij-ep-uneppopsegb-33.html (Дата обращения 14.01.2015).
8. Методическое руководство по выявлению и оценке выбросов диоксинов и фуранов. Программа ООН по окружающей среде. Январь 2001 г., Женева. Электронный ресурс. – Режим доступа: www.chem.unep.ch/pops/pdf/toolkit/toolkitru.pdf (Дата обращения 14.01.2015).
9. Волынкина Е.П., Климовская И.А., Протопопов Е.В. и др. Переработка горючих компонентов твердых бытовых отходов в металлургии. – В кн.: Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе. Сб. докладов второй междунар. науч.-практ. конф., (8-10 окт., 2008 г.) / Под ред. Е.П. Волынкиной. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. С. 241 – 251.

Поступила 15 января 2015 г.

Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2015. Vol. 58. No. 5, pp. 352–358.

HIGH-TEMPERATURE METALLURGICAL AGGREGATES – EFFECTIVE UTILIZERS OF HAZARDOUS ORGANIC WASTES

Kuznetsov S.N., *MA student of the Chair of ferrous metallurgy*

Volynkina E.P., *Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair "Thermal power and Ecology"*

(ekaterina.volynkina@gmail.com)

Protopopov E.V., *Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of ferrous metallurgy, Rector*

Siberian State Industrial University (42, Kirova str., Novokuznetsk, Kemerovo Region, 654007, Russia)

Abstract. Organic waste makes up the bulk of all hazardous waste. Organic waste containing chlorine has a particular danger to the environment. The main method of reduction of hazardous organic waste in the world is high-temperature incineration in special incinerators, as well as in rotary cement kilns. However, there is a danger of secondary generation of supertoxicants as dioxins and furans. The performed comparative analysis of the conditions of generation of dioxins in incinerators, cement kilns and high-temperature metallurgical aggregates (an oxygen steel-making converter) has shown the benefits of the last due to the high temperature, the intensity of heat and mass transfer, the active oxidizing atmosphere, the highly basic slag, rapid cooling and afterburning off-gas. The conducted studies of the content of 17 isomers of dioxins and furans in the dust in converter gas on comparative and experimental melts using paper and plastic waste in conditions of OJSC "EVRAZ ZSMK" have shown that their total concentration is significantly lower than the European standards for off-gases from stationary sources. Significant differences in the concentrations and in the isomeric profile of dioxins and furans on the comparative experimental melts have not been found.

Keywords: hazardous organic wastes, dioxine, combustion, incinerator, cement kiln, oxygen steel-making converter.

DOI: 10.15825/0368-0797-2015-5-352-358

REFERENCES

1. *Tekst Stokgol'mskoi konventsii o stoikikh organicheskikh zagryaznitelyakh* [Text of Stockholm convention of persistent organic pollutants]. UNEP/POPS/CONF. 2001, no. 2, 43 p. (In Russ.).
2. *O ratifikatsii Stokgol'mskoi konventsii o stoikikh organicheskikh zagryaznitelyakh. Federal'nyi zakon № 164-FZ: prinyat Gos. Dumoi 27 iyunya 2011 g.* [On ratification of Stockholm convention of persistent organic pollutants. Federal law no. 164-ФЗ: enacted by State Duma June, 27 2011]. Available at: http://www.rg.ru/2011/06/29/konvenciya-dok.html. (Accessed: 14.01.2014). (In Russ.).
3. Dawson Gaynor W., Mercer Basil W. Hazardous Waste Management. New York, Wiley. 1986. 532 p. (Russ.ed.: Dawson G., Mercer B. *Obezvrezhivanie toksichnykh otkhodov*. Ovcharenko V.A. ed. Moscow: Stroiizdat, 1996. 288 p.).
4. Krainov I.P., Skorobogatov V.M. Reduction technology of persistent organic pollutants. *Ekotekhnologii i resursosberezhenie*. 2002, no. 4, pp. 45–57. (In Russ.).
5. Orris P., Chary L.K., Perry K., Astury J. *Persistent organic pollutants (POPs) and human health*. Washington: WEPHA, 2000. 38 p.
6. *Inzhenernaya zashchita okruzhayushchei sredy. Ochistka vod. Utilizatsiya otkhodov* [Engineering environmental protection. Water purification. Waste disposal]. Birman Yu.A., Vurdova N.G. eds. Moscow: Izd-vo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2002. 296 p. (In Russ.).
7. *Doklad sopredsedatelei Gruppy ekspertov po nailuchshim imeyushchimsya metodam i nailuchshim vidam prirodookhrannoi praktiki. Programma OON po okruzhayushchei srede. 5 yanvarya 2005 g.* [Cochairmen report of expert group on the optimal available methods and optimal kinds of nature conservation practice. UN Environment Program. January, 5 2005]. Available at: http://mognovse.ru/loo-organizaciya-obedinennih-nacij-ep-uneppopsegb-33.html. (Accessed: 14.01.2014). (In Russ.).
8. *Metodicheskoe rukovodstvo po vyyavleniyu i otsenke vybrosov dioksinov i furanov. Programma OON po okruzhayushchei srede. Yanvar' 2001 g., Zheneva* [Study guide on the identification and estimation of dioxin and furan emission. UN Environment Program. January, 2001, Geneva].Available at: www.chem.unep.ch/pops/pdf/toolkit/toolkitru.pdf. (Accessed: 14.01.2014). (In Russ.).
9. Volynkina E.P., Klimovskaya I.A., Protopopov E.V. etc. *Pererabotka goryuchikh komponentov tverdykh bytovykh otkhodov v metallurgii* [Processing of combustible components of solid domestic waste in metallurgy]. In.: *Upravlenie otkhodami – osnova vosstanovleniya ekologicheskogo ravnovesiya v Kuzbasse. Sb. Dokladov vtoroi mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (8–10 okt., 2008 g.)* [Waste management – basis of recovery of the ecological balance in Kuzbass. Reports collection of the II International theoretical and practical conference (October, 8 – 10, 2008)]. Volynkina E.P. ed. Novokuznetsk: izd. SibGIU, 2008, pp. 241–251. (In Russ.).

Received January 15, 2015