

## Решения для ликвидации отходов, содержащих СОЗ

Присутствие в многих странах мира запасов стойких органических загрязнителей (СОЗ) – как, например, полихлорированные дифенилы (ПХБ), хлорорганические пестициды, бромированные огнестойкие добавки – представляет собой угрозу здоровью человека и окружающей среде. Эти отходы СОЗ должны быть ликвидированы экологически безопасными методами, не приводящими к образованию СОЗ. Эти методы должны удовлетворять следующим критериям:

- Эффективность разложения 100% – учитывая все выбросы и сбросы (газообразные, жидкие и твердые);
- Полное прекращение образования всех видов отходов в процессе ликвидации с целью обеспечения 100% эффективности разложения.
- Не допускается неконтролируемое образование отходов.

### Опасные установки для сжигания отходов

В последние сорок лет установки для сжигания отходов стали основным методом уничтожения органических загрязнителей. Однако с их использованием связано несколько проблем.

В идеальном случае сжигание органических соединений при температурах выше 850°C с достаточной турбулентностью и доступом кислорода должно привести к получению нетоксичных конечных продуктов, например, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O. Однако побочные реакции, ведущие к образованию токсичных побочных продуктов, неизбежно происходят особенно в том случае, когда сжигаемые отходы содержат галогены и прекурсоры ПХДД/Ф (особенно ПХБ, хлорфенол, хлорбензол и другие хлорированные ароматические соединения (Blumenstock et al., 2000; Huang and Buekens, 2001; Jiang et al., 1997; McKay, 2002) и похожие бромированные соединения, что приводит к образованию ПХДД/ПХДФ (Weber and Kuch, 2003; Schuler and Jager, 2004). Более строгое регулирование, требующее более эффективного контроля загрязнения воздуха и мониторинга выбросов газообразных примесей, повлекло за собой значительное сокращение выбросов

ПХДД/ПХДФ в воздух, но при некоторых обстоятельствах увеличились выбросы остаточных загрязнителей воздуха. Выбросы, образующиеся при обращении с отходами вместе с непреднамеренно образующимися выбросами в воздухе в ходе неполного сгорания при использовании опасных установок для сжигания, могут вести к повторному загрязнению среды вокруг установки и к образованию побочных продуктов в зависимости от использованной технологии, условий работы установки и системы обработки твердых остатков (Weber et al., 2008). Образовавшиеся токсичные побочные продукты, например, ПХДД/ПХДФ (известные карциногены человека), могут попасть в пищевую цепь (Malisch et al., 1999). Несколько таких случаев описано в научной литературе (Goovaerts et al., 2008; Holme set al., 1994, 1998; Kim et al. 2006; Lovett et al., 1998).

Ограничивающим фактором сжигания является его относительно высокая стоимость (DOE, 1999; Haglund, 2007), особенно при эксплуатации установок для сжигания, содержащих современные приборы для контроля загрязнения, мониторинга и обращения с отходами. Расходы повышаются также за счет транспортировки опасных отходов к установке для сжигания. Печи для обжига цемента работают при температуре 1450°C или выше, но только несколько из них удовлетворяет требованиям сжигания СОЗ, кроме того, эффективность разложения не была показана. Более того, для эффективной работы установки необходимы дорогостоящее смешивание, снабжение и мониторинг работы такой установки (Rahuman et al., 2000).

Полная оценка эффективности разложения при сжигании (опасном сжигании отходов) и оценка печей для обжига цемента отсутствуют до сих пор (Weber, 2007). Однако некоторые испытания показали, что установки для сжигания достигли более низкой эффективности разложения, по сравнению с эффективностью, достигнутой при помощи технологий, не связанных со сжиганием (Rahuman et al., 2000).

Перечисленные выше проблемы, а также несогласие общественности со

сжиганием опасных и содержащих СОЗ отходов привели к поиску альтернативных методов разложения, не связанных со сжиганием.

### Методы разложения, не связанные со сжиганием

Эти технологии используют физические и химические процессы переработки СОЗ содержащих отходов в менее опасные вещества. Эти технологии, не связанные со сжиганием и действующие при высоких температурах, в настоящее время используются в промышленном масштабе в одной или более странах, где эти технологии лицензированы для уничтожения запасов СОЗ. В данной публикации кратко описаны четыре из них. Кроме того здесь также представлены две очень интересные технологии, а именно:

- Технология разложения, действующая в условиях слабой реакции (комнатная температура и давление); и
- Технология для удаления бромированных огнестойких добавок из пластмассовых отходов.

### Химическое восстановление в газовой фазе (GPCR)

Эта технология включает химическое восстановление органических соединений в газовой фазе при помощи кислорода при температуре 850°C или выше и при низком давлении. Органические соединения в конечном счете восстанавливаются в метан, хлористый водород (который позже нейтрализуется), и в незначительное количество углеводородов с низким молекулярным весом. Эта технология позволяет ликвидировать как жидкие, так и твердые отходы с высоким содержанием ДДТ, гексахлорбензола (НСВ), ПХДД/ПХДФ и ПХБ содержащих трансформаторов, конденсаторов и масла. Предварительная обработка нужна как для твердых, так для жидких отходов. Конфигурация настоящей технологии является модульной: она может быть установлена на постоянном месте или быть передвижной.

Все эмиссии и отходы могут быть, в случае необходимости, захвачены и подвергнуты переработке. В рамках

процесса ПХДД/ПХДФ не были обнаружены во воздушных выбросах, но были обнаружены, в небольшом объеме, на горелке природного газа, использованной для нагрева химического реактора (UNEP, 2004). Твердые отходы возникают при ликвидации изначальных твердых отходов, поступающих на ликвидацию, но они должны быть пригодными для размещения на свалке отходов, однако, UNEP (2003) показывает, что следы СОЗ в таких отходах могут оставаться.

Данные по эффективности разложения, предоставленные компанией Eco Logic, из промышленных установок в Австралии и Канаде, показывают коэффициенты DE порядка > 99.9999 % для ПХБ, ДДТ и ГХБ и порядка >99.9999% для ПХДД/ПХДФ (Eco Logic, 2002). Обработанное количество 150 тонн в месяц или 1800 тонн в год может быть удвоено в результате улучшения технологии (ИПА, 2002). Американское агентство по охране окружающей среды (EPA) (2005) утверждало, что настоящая технология не считается рентабельной, но недавно было отмечено, что в настоящее время технология «модифицируется для улучшения своей экономической эффективности» (EPA, 2010).

### Каталитическое разложение (BCD)

Данный процесс, разработанный Агентством по охране окружающей среды США (US EPA), состоит из двух отдельных шагов: во-первых, непрямое нагревание, термодесорбция, при температурах 200-400°C, используемая для детоксикации обработанной массы. Затем СОЗ в форме чистых химикатов или концентратов, полученные десорбцией, уничтожаются в ходе химической реакции. Дегалогенизация появляется тогда, когда избранные химикаты, в том числе гидроксид натрия (основа), смешаны с конденсированными загрязнителями и подогреты в реакторе до 236°C. Если базисное масло не достигнет признаков ликвидации, оно возвращается в реактор и снова нагревается. Эта технология способна восстанавливать жидкости, почвы, полужидкие отходы и осадки, которые содержат ПХБ и ПХДД/ПХДФ. Обработанную почву можно использовать на месте в качестве обратной засыпки. Технология может быть установлена фиксированно или как передвижное устройство (EPA, 2005; Rahuman et al., 2002; UNEP, 2004).

По сравнению с более старыми установками сегодняшние заводы оборудованы приборами для очистки отходящего газа в скруббере и с помощью фильтрации. Концентрация вредных примесей является низкой, и общая масса выпущенного отходящего газа на несколько порядков ниже, чем при использовании установок для сжигания отходов (UNEP, 2004).

BCD реактор способен обработать 2-12 тонн СОЗ в день. Наиболее высокой производительности можно достичь путем повышения количества модулей. Более высокие коэффициенты разложения (4-6 раз) были получены для ПХБ, ОСПs и ПХДД/ПХДФ во время опытных испытаний и эксплуатации в нормальных условиях (UNEP, 2004). Срок BCD обработки короток, потребность в энергии умеренна, и операционные и эксплуатационные расходы являются довольно низкими. Считается, что операционные расходы BCD системы в полном объеме ниже, чем 25% операционных расходов установок для сжигания (Rahuman et al., 2000).

### Окисление в сверх нагретой воде (SCWO)

Многие технологии химического уничтожения основаны на реакции органических соединений с гидроксильными радикалами. В сверх нагретой воде органические загрязнители становятся высоко растворимыми в воде и быстро реагируют с добавленными окислителями. Конечными продуктами восстановления являются двуокись углерода, вода и неорганические кислоты и соли. Фаза сверх нагретой воды происходит при высокой температуре и условиях давления, например, 374°C и 24-28 МПа (EPA, 2005; Rahuman et al., 2000; Veriansyah et Kim, 2007). Отходящие газы не содержат оксидов азота, кислотных газов или частиц и содержат меньше чем 10 ppm окиси углерода (Environment Australia, 1997). SCWO является пригодным для обработки почвы, шламов и жидких отходов, загрязненных, например, ПХБ и пестицидами, и также опасными отходами военного производства в низких или высоких концентрациях. Технология является переносной (ИПА, 2008; Marulanda, 2010).

Современные SCWO установки применяют коррозионностойкие материалы. Все эмиссии и отходы могут быть

в случае необходимости отобраны для переработки (UNEP, 2004).

EPA (2005) как и Rahuman et al. (2000) утверждает, что никаких данных по коэффициенту разложения найдено не было, однако UNEP (2004) информирует о высокой эффективности данной технологии. ИПА (2008) упоминает, что коэффициент разложения (DE) составляет от шести до восьми десятков для отходов с очень низкой концентрацией пестицидов. Для отходов, содержащих максимально 20% органического углерода, SCWO считается гораздо дешевле, чем сжигание (Boock, 1996). Из-за операционных проблем промышленный статус SCWO в настоящее время ограничен, однако, Veriansyah и Kim (2007) утверждают, что повышенное инвестирование в новые технологии, у которых потенциально более высокое качество, чем у сжигания, могло бы устранить настоящие технические ограничения обсуждаемой технологии. Marulanda (2010) предлагает, что работа мобильной установки в Южной Америке может сделать SCWO экономически жизнеспособной альтернативой сжиганию в странах Южной Америки.

### Восстановление натрием

Данная переносная или устойчивая технология широко используется для удаления низкого и высокого содержания ПХБ из трансформаторного масла непосредственно на месте размещения. Основным принципом является восстановление ПХБ щелочным металлом при рассеивании натрия в минеральных маслах, которое приводит к конечным продуктам таким, как: негалогенированные бифенилы, хлорид натрия, масло на нефтяной основе и вода. Доложенная производительность обработки трансформаторного масла - 15 000 литров в день. Коэффициент разложения данной технологии не известен, и доступная информация по характеристике отходов является недостаточной. Как у любых процессов, в которых не включено уничтожение самого трансформатора, здесь существует обеспокоенность по поводу выбросов ПХБ в пористых материалах трансформаторов, когда трансформаторные масла обработаны на месте естественного размещения. Однако настоящий подход для обработки ПХБ широко применяется в течение последних двадцати лет.

### Шаровая обработка/ Механохимическая дегалогенизация (MCD)

Шаровые мельницы — механохимические дегалогенирующие реакторы для эффективного разложения ПХБ и других органических хлорированных загрязнителей на их исходные углеводороды. Редуктивная дегалогенизация происходит в присутствии щелочного металла и низкого источника гидроксидов. Она может быть применена в случае контаминированных материалов, но и высоко концентрированных или чистых химикатов независимо от их состояния. Загрязнители удаляются прямо в контаминированном материале (Birke et al., 2004; UNEP, 2004). Хотя механохимическая деструкция проводится при низких температурах, внутри обрабатываемого материала, когда зерно сталкивается на высокой скорости с твердой поверхностью, температура достигает нескольких тысяч градусов по Цельсию (Heinicke, 1984). Конечный продукт в виде порошка может потребовать дальнейшей обработки (ИПА, 2008).

Шаровые мельницы доступны в разных размерах и конструкциях, существуют даже мельницы для обработки материалов весом до нескольких тонн. Механохимическая деструкция, что касается затрат, эффективна и что касается охраны окружающей природной среды, ее преимуществом являются низкие затраты энергии. Благодаря слабым формам реакций и конструкции закрытой системы не ожидается никаких отпавших выбросов в окружающую среду (Birke et al., 2004; UNEP, 2004).

ИПА (2008) отмечает, что коэффициент разложения (DE) шаровой обработки составляет 4-5 десятков. Birke et al. (2004) приводит данные о том, что ПХБ в твердых или жидких матрицах (основано на лабораторных исследованиях) может быть уничтожен вплоть до неопределяемых показателей, в период от минуты до часа. Однако опыт коммерческого использования этой технологии в настоящее время очень ограничен, существует лишь небольшая информация по поводу эмиссий, эффективности, промежуточной продукции распада и других важных параметров промышленной эксплуатации. Нерешенными остаются главные вопросы, а именно: какова эффективность разложения, каковы количества

и токсичность агентов, необходимых для процесса (ИПА, 2008).

Когда была шаровая обработка применена к почвам Новой Зеландии, загрязненным пестицидами, уровень пестицидов в почвах понизился на мент чем 90%. Существуют опасения относительно возможных выбросов ПХДД/ПХДФ в воздух в течение обработки и относительно потенциально проблематичного уровня средств обработки, которые остаются в обработанной почве (PCE, 2010; PCE, 2008).

### Процесс CreaSolv®

CreaSolv® удаляет бромированные огнестойкие добавки («BFRs») из пластмассовых отходов. Специфические полимеры в пластмассовых отходах выборочно разрушаются патентованными растворителями и потом осаждаются другим патентованным составом. Это следует после предварительной сортировки других отходов, и таким способом обрабатываемый материал, поступающий в экстракцию растворителем, содержит высокую долю (как правило ≥75%) пластмассы для восстановления (Malcolm Richard, 2011). Разработчики - CreaCycle GmbH в сотрудничестве с Fraunhofer Institute IVV - сообщают, что объем использованного растворителя очень низок, в отношении к обрабатываемой пластмассе (<1%), так как растворители рециклируются. Единственным растворителем, удаленным из процесса, является малая часть, в которой BFRs и другие загрязнители выделяются и сгущаются. Конечными продуктами процесса являются применимый полимерный рециклированный материал, концентрат с высоким содержанием BFR, и, если имеется, нерастворимая фракция с высоким содержанием металла (CreaCycle; Maurer and Schlummer, 2004).

Процесс был применен в лабораторных масштабах и масштабах испытательного завода.

Например изношенные мобильные телефоны были после удаления батарейки обработаны, также как мягкие полимерные частицы, подходящие для вытягивания и литья под давлением (Maurer and Knauf, 2005). В другом примере отходы пенополистирола (PS) были успешно обработаны в опытной установке для создания снова вспенивающего PS, похожего, с точки зрения его применения, на новый

полистирол (Maurer and Knauf, 2005). В технико-экономическом обосновании малого масштаба оба BFR и ПХДД/ПХДФ, присутствующие как загрязнители, были успешно удалены из пластмассовых отходов из демонтажа Канадских WEEE заводов (WEEE- электронные и электрические отходы) (Schlummer et al., 2008).

Программа действий в области отходов и ресурсов (WRAP) вложила деньги в исследование Freer (2005), касающееся оценки потенциального воздействия на окружающую среду четырех новых процессов для восстановления электрических и электронных пластмассовых отходов, содержащих BFR, по сравнению с захоронением и сжиганием отходов с и без энергетической утилизации отходов. CreaSolv® процесс был классифицирован как лучший, учитывая энергопотребление и потенциал фотохимического окисления, и вторым в сравнении с процессом получения энергии от сжигания отходов, имеющим самый низкий потенциал воздействия на глобальное потепление. Исследование пришло к заключению, что два процесса, основанные на растворителях, CreaSolv® и Centrevap®, оказались двумя лучшими процессами с точки зрения воздействия на окружающую среду, и было отмечено, что процесс CreaSolv® отличался особенно низкими потерями растворителя и «высоким коэффициентом извлечения растворителя».

В недавнем обзоре по управлению пластмассой, содержащей BFR, авторы Nnorom и Osibnjo (2008) отметили, что другие исследования, финансируемые WRAP, выявили, что процесс CreaSolv® удаляет BFR из WEEE полимеров лучше, чем процесс Centrevap®. Однако об обоих процессах говорят, что они представляют финансово жизнеспособные альтернативы захоронению и сжиганию отходов и в качестве разновидности управления WEEE пластмассой. Обозреватели пришли к заключению, что данные методы удаления BFR, основанные на растворителе, «в настоящее время предлагают лучшую коммерческую и экологическую разновидность для эффективного управления BFR отходами, содержащими пластмассу» и предложили, что коммерциализация данных процессов поможет сократить вывоз WEEE отходов в развивающиеся страны.

Концентрированный BFR, восстановленный из процесса, может быть

разложен при помощи других технологий, не связанных со сжиганием, или безвозвратно преобразован в качестве реагентов в промышленных процессах.

### Вопросы, требующие ответа

Одним из важных критериев для оценки технологий уничтожения СОЗ является возможное образование в течение процесса новых СОЗ и других токсических побочных продуктов. В течение сжигания опасных отходов (см. выше) могут быть образованы ПХДД/ПХДФ. Однако эксплуатационный режим у числа технологий, не связанных со сжиганием, имеет также потенциал образовывать ПХДД/ПХДФ в случае, если присутствуют соответствующие прекурсоры (Weber, 2007). Одним из примером является GPCR, где ПХДД/ПХДФ могут образовываться в случае, если получаемый газ или наружный воздух, используемые для сжигания, содержат хлорированные разновидности. Для удовлетворения основных технических критериев для уничтожения СОЗ, оба, получаемый газ и воздух для горения, должны быть соответственно обработаны (Rahuman et al., 2000). И в результате процесса обработки BCD могут повышаться концентрации низших хлорированных соединений, и существует обеспокоенность связи с PCDD/Fs, когда низшие соединения значительно более токсичны, чем высшие. Поэтому необходимо, чтобы после процесса осуществлялся соответствующий контроль, подтверждающий, что реакция продвигается к завершению (Rahuman et al., 2000). Лабораторное испытание уничтожения ПХБ SCWO показало, что в операциях при низких температурах может быть образовано значительное количество ПХДД/ПХДФ (Weber, 2004). Операторы должны обеспечить, чтобы процессы проходили при условиях (особенно температура и продолжительность обработки), которые бы не приводили к образованию ПХДД/ПХДФ. Однако во многих случаях подробная оценка технологий, не связанных со сжиганием, не включает вопрос образования ПХДД/ПХДФ (Weber, 2004, 2007).

### Как выбрать наиболее подходящую технологию?

Кажется, что нет никакой «превосходной» технологии ликвидации СОЗ. В каждом отдельном случае необходимо учитывать много критериев при при-

нятии решений относительно выбора подходящей технологии. Основным стандартом для выбора технологии уничтожения СОЗ является эффективность разложения. Коэффициент эффективности разложения (DE) — это сравнение количества специфического СОЗ, вложенного в процесс, и общего количества того СОЗ, которое выпущено в качестве всех процессов выброса, например, газообразные и жидкие выбросы и твердые отходы. Другим иногда используемым критерием является эффективность разложения и удаления (DRE), которая учитывает только количество специфического СОЗ, выпущенных с эмиссиями в воздух. К сожалению, многие отчеты по эффективности технологии показывают только DRE и иногда DRE ошибочно заменяются DE (Costner, 2004). Оба критерия должны быть рассмотрены в отношении к необнаруживаемым концентрациям СОЗ. Про них сообщается, что они «ниже», чем величины пределов определения, однако не ниже нуля. Следовательно, вычисленные величины DE и DRE приближаются, но не достигают 100%. Поэтому коэффициент разложения >99.9999% можно считать 100% эффективным (Rahuman et al., 2000). Хотя химические и токсикологические анализы всех выбросов являются дорогостоящими, их необходимо проводить с частотой, достаточной для обеспечения соответствия технологии основному критерию DE >99.9999%, т. е. при запусках, остановке, эксплуатации как в нормальных условиях, так и при возможных критических ситуациях (Rahuman et al., 2000). Weber (2007) утверждает, что DE должен быть определен на основании долгосрочного наблюдения, продолжающегося месяцами, и подобная работа должна выполняться в течение всей продолжительности проектов по ликвидации СОЗ.

Естественно стоимость технологии является важным ограничивающим фактором. Они значительно отличаются в зависимости от содержания СОЗ в материале, предназначенном для обработки, объема этого материала и расстояния перевозки (в случае применения технологии за пределами территории). Начальные капитальные затраты могут быть высокими, однако расходы по обработке, связанные с современными и менее оптимизированными технологиями, могут в будущем снизиться,

что не реально для процесса сжигания (Haglund, 2007).

Другие экономические, социальные, экологические и технические критерии должны быть также учтены при выборе технологии уничтожения СОЗ. Ими, наряду с другими, являются (Environment Australia, 1997; IHPA, 2008; Lodolo, 2002; Rahuman et al., 2000; Veriansyah and Kim, 2007; Weber, 2007):

- Способность технологии обрабатывать отходы в физической форме (текучей, твердой, размер зерн) с определенным содержанием органического углерода и необходимость предварительной обработки
- Мощность установки
- Местная применимость
- Возможность перевозки отходов и мобильность установки
- Надежность и эффективность установки
- Объем потоков подобных продуктов и содержание токсичных веществ в побочных продуктах при всех условиях эксплуатации, в том числе, в случае нестабильной ситуации или замкнутого процесса
- Риск, связанный с эксплуатацией технологии (гибкость груза, управление переходным процессом, управление в аварийной ситуации, разборка установки)
- Отношение граждан к данной технологии
- Принимаемая во внимание принципы «зеленой» химии (которые учитывают использование экологически безопасных процессов и технологий производства), предпочтение должно отдаваться процессам, происходящим при комнатной температуре и атмосферном давлении. Это обеспечивает снижение энергопотребления и улучшение возможности для транспортировки установки. Далее, любые реагенты или материалы должны быть недорогими, нетоксическими, легко хранимыми, образование токсичных побочных продуктов должно быть исключено и, последнее, метод должен давать высокий коэффициент разложения (Laine and Cheng, 2007). Это подчеркивает потребность для проектирования новых реакторов и дальнейшего исследования.

### Заключение

Хотя сжигание отходов, содержащих СОЗ, является до сих пор наиболее широко используемой технологией, оно не считается «чистым» методом ликвидации. Существует опасение относительно высокой стоимости установок по сжиганию, исчерпывающая информация по коэффициенту разложения отсутствует, и такая технология является стационарной. Технология, которая является передвижной, применимой на местах, устойчивой, и которая разрушает вышедшие из употребления СОЗ при разумной стоимости, обозначала бы прорыв в ликвидации этих химикатов

(IHPA, 2008). Инновационные технологии, не применяющие сжигание, могут в перспективе стать такими технологиями, однако, должны быть гарантированы специфические условия:

- долгосрочная доступность ресурсов,
- информированность по вопросам охраны окружающей среды и
- обоснованное научное исследование, поддерживаемое на политическом уровне и обеспеченное необходимым финансированием

Так как необходимая информация (например, потенциальное образование ПХДД/ПХДФ в процессе деструкции) в

настоящее время предоставляется почти исключительно компаниями по разработке и продаже технологий (Weber, 2007), должна быть проведена независимая оценка этих технологий, полученные данные должны быть обнародованы. Голосность и работоспособность технологий должна быть подтверждена полевыми испытаниями в странах/регионах с ограниченной инфраструктурой и недостатком необходимых услуг по снабжению (IHPA, 2008).

### Источники информации

- Birke V., Mattik J., Runne D., 2004. Mechanochemical reductive dehalogenation of hazardous polyhalogenated contaminants. *Journal of Materials Science* 39, 5111–5116.
- Blumenstock M., Zimmermann R., Schramm K.W., Ketrup A., 2000. Influence of combustion conditions on the PCDD/F-, PCB-, PCBz- and PAHconcentrations in the post-combustion chamber of a waste incineration pilot plant. *Chemosphere* 40,987–993.
- Boock L. T., 1996. A quantitative analysis of reactions in supercritical water: experimental kinetics and mechanistic modeling. Ph.D. Dissertation. The University of Delaware.
- Costner P., 2004. Non-combustion technologies for the destruction of PCBs and other POPs wastes: Civil society, international conventions and technological choices. Greenpeace International, Amsterdam, June 2004.
- Creacycle, undated. The CreaSolv® Process, <http://www.creacycle.de/Der-CreaSolvProzessQQid-20-38QQlangenglish>.
- DOE, 1999. Waste Incineration at the Savannah River Site, U.S. Department of Energy Audit Report. DOE/IG-0453. (1999).
- Eco Logic, 2002. Contaminated Soil and Sediment Treatment Using the GPCRTM/TORBED®Combination. October 2002, <http://www.torftech.com/start.htm>
- EPA, 2005. Reference Guide to Noncombustion Technologies for Remediation of Persistent Organic Pollutants in Stockpiles and Soil, EPA-542-R-05-006, December 2005, Washington DC, <http://www.clu-in.org/POPs>
- EPA, 2010. Reference guide to noncombustion technologies for remediation of persistent organic pollutants in soil, EPA 542-R-09-007 second edition – 2010. United States Environmental Protection Agency. Environment Australia, 1997. Appropriate technologies for the treatment of scheduled wastes. Review Report No 4, November 1997, [www.environment.gov.au](http://www.environment.gov.au)
- Freer, E., 2005. Life cycle assessment Study: SUMMARY REPORT - Selected Treatment Processes for WEEE Plastics Containing Brominated Flame Retardants. For Axion Recycling on behalf of Waste Resources Action Programme (WRAP) Project Ref: E4833, August 2005. [http://www.creacycle.de/images/stories/e5c-2006.11.\\_wrap\\_final\\_report-appendix\\_5-\\_environmental\\_impact\\_analysis.pdf](http://www.creacycle.de/images/stories/e5c-2006.11._wrap_final_report-appendix_5-_environmental_impact_analysis.pdf)
- Goovaerts P., Trinh H.T., Demond A.H., Towey T., Chang S.C., Gwinn D., Hong B., Franzblau A., Garabrant D., Gillespie B.W., Lepkowski J., Adriaens P., 2008. Geostatistical modeling of the spatial distribution of soil dioxin in the vicinity of an incinerator. 2. Verification and calibration study. *Environmental Science and Technology* 42, 3655–3661.
- Haglund P., 2007. Methods for treating soils contaminated with polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and other polychlorinated aromatic compounds. *Ambio* 36, 467–474.
- Heinicke G., 1984. *Tribochemistry*. Akademie-Verlag, Berlin.
- Holmes S.J., Jones K.C., Miller C.E., 1994. PCDD/PCDF contamination of the environment at Bolsover UK. *Organohalogen Compounds* 24, 373–377.
- Holmes S.J., Green N., Lohmann R., Jones K.C., 1998. Concentrations of PCDD/PCDFs in soil around a point source. *Organohalogen Compounds* 39, 257–260.
- Huang H., Buekens A., 2001. Chemical kinetic modeling of De novo synthesis of PCDD/F in municipal waste incinerators. *Chemosphere* 44, 1505–1510.
- International HCH and Pesticides Association (IHPA), 2002. NATO/CCMS pilot study fellowship report. Evaluation of demonstrated and emerging remedial action technologies for the treatment of contaminated land and groundwater (Phase III). Retrieved July 10, 2006, from <http://clu-in.org/download/partner/vijgen/vijgentext.pdf>
- International HCH and Pesticides Association (IHPA), 2008. Obsolete pesticides. A „burning“ question. Conference report, Utrecht, The Netherlands, September 2008.
- Jiang K., Li L., Chen Y., Jin J., 1997. Determination of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs in Chinese commercial PCBs and emissions from a testing PCB incinerator. *Chemosphere* 34, 941–950.
- Kim K.S., Kim J.G., Shin S.K., Chung I.R., Kim K.S., Song B.J., Jeong M.J., 2006. Levels and congener profiles of PCDD/Fs in the environmental media in the vicinity of the waste

- incinerator, South Korea. Organohalogen Compounds 68, 2264–2267.
- Laine D.F., Cheng I.F., 2007. The destruction of organic pollutants under mild reaction conditions: A review. Microchemical Journal 85, 183-193.
- Lodolo A., 2002. Training workshop „Initial National POPs Inventory – INPOPSI“, 16–17 May 2002 Brno, Czech Republic.
- Lovett A.A., Foxall C.D., Ball D.J., Creaser C.S., 1998. The Panteg monitoring project: comparing PCB and dioxin concentrations in the vicinity of industrial facilities. Journal of Hazardous Materials, 61, 175–185.
- McKay G., 2002. Dioxin characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste. (MSW) incineration: review. Chemical Engineering Journal 86, 343–368.
- Malcolm Richard, G., Mario, M., Javier, T., & Susana, T., 2011. Optimization of the recovery of plastics for recycling by density media separation cyclones. Resources, Conservation and Recycling, 55(4), 472–482.
- Malisch R., Gleadle A., Wright C., 1999. PCDD/F in meat samples from domestic farm animals and game. Organohalogen Compounds 43, 265–268.
- Marulanda, V. & Bolaños, G., 2010. Supercritical water oxidation of a heavily pcb-contaminated mineral transformer oil: Laboratory-Scale data and economic assessment. The Journal of Supercritical Fluids, 54(2), 258–265.
- Mäurer, A.; Knauf, U., 2005. Recycling of EPS-waste to expandable polystyrene. FAKUMA Forum 2005. Friedrichshafen, 20. October 2005. [http://www.creacycle.de/images/stories/2005.10.20\\_fakuma\\_eps-loop.pdf?phpMyAdmin=3YWg3TY3Fwx5szw4jyy1vC6g8tf&phpMyAdmin=168fc401cb4cc955191a9e0c52e0d626](http://www.creacycle.de/images/stories/2005.10.20_fakuma_eps-loop.pdf?phpMyAdmin=3YWg3TY3Fwx5szw4jyy1vC6g8tf&phpMyAdmin=168fc401cb4cc955191a9e0c52e0d626)
- Mäurer, A.; Schlummer, M., 2004. Good as new. Waste Management World, May-June (2004), pp 33–43.
- Nnorom, I.; Osibanjo, O., 2008. Sound management of brominated flame retarded (BFR) plastics from electronic wastes: State of the art and options in Nigeria. Resources, Conservation and Recycling 52: 1362–1372
- Parliamentary Commissioner for the Environment (PCE), 2010. Investigation into the remediation of the contaminated site at Mapua – Update Report. <http://www.pce.parliament.nz/publications/all-publications/investigationinto-the-remediation-of-the-contaminated-site-at-mapua-4>
- Parliamentary Commissioner for the Environment (PCE), 2008. Investigation into the remediation of the contaminated site at Mapua. <http://www.pce.parliament.nz/publications/all-publications/investigation-into-the-remediation-of-the-contaminated-site-at-mapua-4>
- Rahuman M.M.S.M., Pistone L., Trifiro F., Miertus S., 2000. Destruction technologies for polychlorinated biphenyls (PCBs). ICS-UNIDO PUBLICATIONS. Nov. 2000
- Schlummer, M., et al., 2008. Using the Creasolv® process to recycle polymers from Canadian waste plastics containing brominated flame retardants. Organohalogen compounds 70: 2139–2142.
- Schüler, D.; Jager, J., 2004. Formation of chlorinated and brominated dioxins and other organohalogen compounds at the pilot incineration plant VERONA. Chemosphere 54: 49–59
- UNEP, 2003. Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Persistent Organic Pollutants as Wastes. UNEP/CHW/OEWG/1/INF/6 25, March 2003.
- UNEP, 2005. Ridding the World of POPs: A Guide to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. [http://www.pops.int/documents/guidance/beg\\_guide.pdf](http://www.pops.int/documents/guidance/beg_guide.pdf)
- UNEP, 2004. STAP of the GEF. Review of Emerging, Innovative Technologies for the Destruction and Decontamination of POPs and the Identification of Promising Technologies for Use in Developing Countries.”GF/8000-02-02-2205, January 2004, <http://www.unep.org/stapgef/home/index.htm>
- Veriansyah B., Kim J.D., 2007. Supercritical water oxidation for the destruction of toxic organic wastewaters: A review. Journal of Environmental Sciences 19, 513–522.
- Weber, R.; Kuch, B., 2003. Relevance of BFRs and thermal conditions on the formation pathways of brominated and brominated–chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans. Environ. Int. 29: 699–710
- Weber, 2004. Relevance of PCDD/Fs formation for the evaluation of POPs destruction technologies – PCB destruction by supercritical water oxidation (SCWO). Organohalogen Compounds 66, 1263–1269.
- Weber R., 2007. Relevance of PCDD/PCDF formation for the evaluation of POPs destruction technologies – Review on current status and assessment gaps. Chemosphere 67, 109–117.
- Weber R., Gaus C., Tysklind M., Johnston P., Forter M., Hollert H., Heinisch E., Holoubek I., Lloyd-Smith M., Masunaga S., Moccarelli P., Santillo D., Seike N., Symons R., Machado Torres J.P., Verta M., Varbelow G., Vijgen J., Watson A., Costner P., Woelz J., Wycisk P., Zennegg M., 2008. Dioxin- and POP-contaminated sites – contemporary and future relevances and challenges. Environmental Science and Pollution Research 15, 363–393



Рабочая группа IPEN по диоксидам, ПХБ и отходам  
с/о Ассоциация «Арника»

Программа по токсическим веществам и отходам

Хлумова 17

Прага 3

Чешская Республика

130 00

телефон/факс: +420 222 781 471

эл. почта: [ipen-dioxin@arnika.org](mailto:ipen-dioxin@arnika.org)

веб-сайт: IPEN: <http://www.ipen.org>

<http://english.arnika.org>

### Рабочая группа IPEN по диоксидам, ПХБ и отходам

Рабочая группа IPEN по диоксидам, ПХБ и отходам была создана в мае 2001 года в Швеции после того, как был согласован текст Стокгольмской конвенции. Рабочая группа, в соответствии со своим потенциалом и ресурсами работает, чтобы обеспечить адекватное понимание и полное включение мер, направленных на решение проблем диоксинов, ПХБ и отходов в деятельность каждой страны по осуществлению Стокгольмской конвенции и Национальных планов выполнения. Кроме того, в каждом регионе и стране она продвигает политику и практику, направленные на ликвидацию диоксинов и ПХБ, на сокращение и ликвидацию отходов и на экологически безопасное регулирование отходами.