

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОЭЭО

*Т. С. Смирнова, к. т. н.,
национальный эксперт ЮНИДО*



Электронные отходы – один из значимых источников загрязнения окружающей среды, но, с другой стороны, ОЭЭО также могут рассматриваться в качестве вторичного ресурса, так как они содержат ценные компоненты. Таким образом, переработка электронных отходов не только является важным элементом в общей структуре управления отходами, но и представляет интерес с точки зрения материального и ресурсного потенциала.

*(Окончание.
Начало – в ТБО №№ 7, 8, 2015)*

УТИЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИКОВ В КОНТРОЛИРУЕМЫХ И НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ

После металлов наибольшую потенциальную ценность переработки электронных отходов имеют пластики. Несмотря на это, только незначительная часть (менее 25 %) всех собранных пластиков из электронных отходов используется повторно. Это происходит потому, что пластики являются поликомпонентными материалами, состоящими из многочисленных полимеров и добавок, которые делают процесс переработки этого вида отходов очень сложным и трудоемким. Различные виды пластиков должны быть разделены. Часть из них направляется на утилизацию, часть может быть использована в производстве новой, в основном низкокачественной продукции, такой как автодорожные знаки, аварийные конусы, садовая мебель, хозяйственный инвентарь и т. д. Разделение, как правило, осу-

ществляется с помощью просеивания, разделения по плотности (в различных водных или неводных средах), электростатической сепарации (например, трибоэлектрического разделения) и воздушно-вихревой сепарации в сочетании с различными способами измельчения. Лакокрасочное покрытие удаляют путем помолла, истирания, зачистки и промывки растворителем в высокотемпературных водных растворах. Другие сопутствующие пластикам примеси удаляют с помощью аналогичных методов, используемых для разделения. Разделенные пластики, пригодные для вторичной переработки, могут быть превращены в новые изделия посредством таких процессов, как плавление, формование и экструзия. Известны также процессы альтернативной переработки пластиков, такие как пиролиз и деполимеризация, в которых пластики превращаются в кокс, коксовый газ и другие вещества.

Большинство пластиков, входящих в состав ОЭЭО, не может быть переработано. Немалая часть пластиков сжигается в установках для тер-

мической обработки бытовых отходов с тепловыми и рекуперационными системами энергии, а часть отправляется на свалки. Значительная доля пластиков направляется с металлической частью в плавильную печь в качестве топлива и восстановливающего агента в процессе плавки металлов, тем самым заменяя часть применяемого для этих целей кокса.

Исследование различных маршрутов отслуживших свой срок мобильных телефонов, проведенное по заказу шведской системы возврата электронных продуктов (El-Kretsen), показало, что является более выгодным и с экологической, и с экономической точек зрения – прямой маршрут на плавильный завод или предварительная разборка, в которой корпус вручную удаляется для переработки.

Расчеты в указанном исследовании были основаны на данных перерабатывающего предприятия Boliden's Rönnskär и учитывали транспортные расходы и расходы на переработку. В докладе делается вывод, что прямой маршрут на плавильный завод явля-

ется наиболее экоэффективным процессом. Однако впоследствии этот вывод был подвергнут критике по ряду пунктов организацией Ökoro1 и Институтом экологической стратегии. А именно, было отмечено, что экологические последствия от токсичных выбросов, образующихся при сжигании бромированных антипиренов, содержащихся в пластиках, не рассматривались, а также были выявлены некоторые неопределенности в экономическом расчете из-за его непрозрачности.

Для полной утилизации пластиков, в том числе производства новых продуктов из пластика, используются методы термической обработки, такие как плавление, экструзия, формование, деполимеризация и пиролиз. Во время таких процессов существует риск, что бромированные антипирены превратятся в высокотоксичные полибромированные диоксины.

Объемы образования полибромированных диоксинов, по-видимому, зависят от температурного режима и

длительности процесса, а также наличия их предшественников, таких как полибромированные дифенилафиры. Причем полибромированные дибензодиоксины могут испаряться и поступать в окружающую среду как в процессе переработки пластиков, так и во время использования новых пластиковых продуктов (даже в детских игрушках!), произведенных из вторичного сырья.

В условиях неконтролируемой переработки пластики, как правило, измельчаются, потом вручную разделяются (например, по цвету или плотности), и затем еще более измельчаются. Для выполнения этих задач часто привлекаются женщины и дети. Хлопья пластика собирают в мешки и отправляют на плавление и экструзию. Пластмассы могут быть расплавлены и подвержены экструзии для того, чтобы их можно было использовать в производстве новых полезных продуктов. Эти операции часто осуществляются в помещениях с недостаточной вентиляцией и в от-

сутствии у работников средств защиты органов дыхания. Большая часть пластиков из электронных отходов считается неперерабатываемой из-за примесей и смешанных цветов. Они сваливаются в груды или сжигаются на открытом огне.

Переработка пластиков приводит к образованию пыли во время измельчения и токсичных газов во время плавления и экструзии.

Высокие уровни полихлорированных дибензодиоксинов, полибромированных дибензофуранов, полибромированных дибензоэфиров, а также незамещенных полиароматических углеводородов были обнаружены в измельченных электронных отходах, цеховой пыли, почве и растительности в Тайчжоу (Китай).

ЗАХОРОНЕНИЕ И СЖИГАНИЕ ОСТАТКОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОЭЭО

Утилизация электронных отходов всегда приводит к потенциальным рискам для здоровья человека и окру-

НАУЭ 1/2



крытом воздухе. Кроме того, в местах образования свалок случаются неконтролируемые пожары, что создает дополнительные угрозы для здоровья человека и окружающей среды.

Достаточно трудно оценить экологические последствия от размещения электронных отходов на свалках в связи с чрезвычайной сложностью состава отходов и продолжительным временем накопления. Исследования процесса выщелачивания электронных отходов, проведенные в моделируемых, а также в естественных условиях показывают, что свинец в фильтрате содержится в концентрациях, превышающих 5 мг/л.

Высокие уровни бромированных антипиренов и ряд других неизвестных органических соединений брома, а также фталаты, пластификаторы были обнаружены в фильтрах свалок. В некоторых исследованиях было показано, что концентрации бромированных антипиренов были выше в фильтрах свалок измельченных электронных отходов по сравнению с теми, где хранятся целые части электронных отходов, и что скорость выщелачивания значительно возрастает в присутствии растворенного гуминового материала почвы.

Что касается риска испарения опасных соединений с поверхности свалок, особую опасность представляет ртуть, имеющая тенденцию к выщелачиванию из неорганических соединений и испарению в виде металлической ртути или метилртути.

Повышенные уровни металлической ртути (или общей газообразной ртути), метил- и диметилртути были обнаружены в испарениях мусорных свалок. На некоторых участках свалок уровни общей газообразной ртути находились в том же диапазоне, что и уровни в факельных газах угольных электростанций. Уровни метил- и диметилртути были примерно в 1 000 раз выше фонового уровня.

После захоронения неорганической ртути на полигоне в результате микробиологической деятельности она превращается в более токсичные органические соединения ртути, которые затем также могут поступить в атмосферу.

Подсчитано, что около 70 % тяжелых металлов (включая ртуть и кадмий) на полигонах США приходится на выбрасываемые ОЭО.

Исследования полигонов захоронения отходов показывают, что различные вещества могут вымываться из электронных отходов и приводить к развитию кратковременных и долгосрочных экологических эффектов. По этим причинам захоронение электронных отходов было запрещено во многих странах мира, однако в некоторых странах оно до сих пор применяется (например, в США).

Риски, связанные со сжиганием электронных отходов, связаны с выбросами как газообразных соединений, так и твердых частиц с дымовыми газами, а также с выщелачиванием загрязняющих веществ из остаточного пепла. Много усилий прилагается для того, чтобы свести к минимуму воздействие этих выбросов на окружающую среду. На современных мусоросжигательных объектах устанавливаются эффективные системы очистки отходящих газов. Опасение вызывает также образующаяся в процессе сжигания зола.

Сжиганию электронных отходов сопутствует образование в отходящих газах высокотоксичных соединений, таких как дибензодиоксины и дибензофураны. К сожалению, в большинстве своем современные системы очистки не позволяют надежно разложить эти соединения.

Избежать образования таких соединений в дымовых газах можно, применяя специальные технологии и оборудование и строго соблюдая условия технологического процесса (так называемое правило трех T – Time, Temperature, Turbulence).

В дополнение к диоксинам, в процессе горения электронных отходов образуется масса других загрязняющих веществ (например, хлорированные и бромированные бензолы и фенолы, полиароматические соединения и т. д.); выделяется значительное количество меди, свинца и сурьмы, кадмия, марганца, никеля, бария, мышьяка, хрома, кобальта и бериллия.

При проведении модельного эксперимента по сжиганию электронных

жающей среды. Это связано с множеством опасных соединений, которые присутствуют в ЭО, а также с методами переработки отходов.

Захоронение и сжигание несортированных электронных отходов не позволяет удалить опасные (и ценные) компоненты. Риски, связанные с размещением ОЭО на свалках, обусловлены выщелачиванием и испарением вредных веществ. Основные проблемы связаны с широким разнообразием веществ в составе ЭО, а также с большими периодами нахождения этих отходов на свалках.

Переработка, включая удаление опасных соединений и извлечение ценных компонентов, является эффективным механизмом защиты окружающей среды и сохранения природных ресурсов. Однако, поскольку процессы переработки несовершенны и не позволяют полностью удалить все опасные соединения из отходов, потенциальная опасность и те или иные риски существуют как в контролируемых, так и в неконтролируемых операциях переработки.

Даже контролируемые свалки с «вкладышами» и системами сбора фильтрата полностью не исключают риска загрязнения. Хотя, конечно же, потенциальные экологические последствия значительно выше при размещении электронных отходов на неконтролируемых свалках. В последнем случае загрязненный фильтрат может просочиться в почву, поверхностные и подземные воды, и оттуда – в питьевую воду, а летучие соединения испаряются на от-

отходов, в золе были обнаружены высокие уровни содержания некоторых металлов (меди, свинца и олова).

Выбросы этих загрязняющих веществ могут быть сведены к минимуму на современных объектах термообработки путем оптимизации процесса и применения эффективных систем очистки дымовых газов. В условиях сжигания электронных отходов на открытых площадках избежать выбросов токсичных соединений в окружающую среду не представляется возможным. Высокие концентрации полихлорированных диоксинов были обнаружены в дымовых газах при открытом сжигании изолированных проводов (около 12 тыс. нг ТЕQ (токсического эквивалента)/кг проволоки), вероятно, из-за высокого содержания в них ПВХ, в то время как концентрации полибромированных диоксинов были выше во время сжигания печатных плат и телевизоров, возможно, из-за содержания бромированных антипиренов в их составе. Содержание этих токсиантов в дымовых газах при открытом сжигании электронных отходов на три порядка выше, чем в дымовых газах открытого сжигания бытовых отходов.

Таким образом, сжигание электронных отходов, особенно в неконтролируемых условиях, может привести к выбросам с высокими концентрациями опасных для здоровья людей и для окружающей среды веществ, а также вносит вклад в глобальное распределение и накопление некоторых загрязнителей.

Согласно Директиве ЕС об ОЭЭО, квоты на переработку и восстановление электронных отходов (50–75 % для переработки и 70–80 % для восстановления) не могут быть достигнуты без учета горючих фракций, таких как пластики в системах рекуперации или рециркуляции. С другой стороны, сжигание с рекуперацией энергии является хорошей альтернативой, когда другие методы переработки неприменимы. Это относится, например, к утилизации остаточной фракции от переработки ОЭЭО.

Что касается воздействия на здоровье человека, выбросы от процессов сжигания могут, в частности,

привести к развитию заболеваний дыхательной системы, (в том числе снижению легочной функции), а также появлению воспалительных и иммунных реакций, нарушению работы сердечно-сосудистой системы (в том числе повышенной смертности от сердечно-сосудистых заболеваний), генотоксическим эффектам, нарушениям репродуктивной системы, а также эстрогенным эффектам.

При неконтролируемой переработке ОЭЭО некоторые части электронных отходов сжигаются на открытом огне для восстановления металлов из композиционных материалов, в которых они заключены (покрытые пластиком провода, а также другие сложные компоненты). Этот метод является общим для неформальных переработчиков Китая и Индии, используется и в африканских странах, таких как Гана, а также незаконно и в некоторых развитых странах. Было установлено, что в Гане в качестве топлива используются изоляционные пены, в первую очередь полиуретан от устаревших холодильников. Сжигание зачастую происходит ночью, для того чтобы черные дымовые шлейфы не привлекли внимания местных властей.

Открытое сжигание пластиков и других остатков от переработки электронных отходов приводит к серьезному загрязнению окружающей среды. Качественный состав дымовых газов аналогичен тому, что и в отходящих выбросах мусоросжигательных установок. Но в неконтролируемых условиях имеют место более высокие концентрации.

Высокие уровни различных загрязняющих веществ были обнаружены в почве и золе, собранной с открытых площадок сжигания электронных отходов в Китае, Индии, Гане. Уровни отдельных соединений варьировались в зависимости от компонентного состава отходов и используемых методов. Тем не менее, во многих образцах содержались кадмий, медь, свинец, цинк и сурьма (иногда в концентрациях, в сто раз превышающих обычные фоновые уровни), а также полибромированные дибензоэфиры, полиа-



роматические углеводороды, полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны, полихлорированный бензол и различные другие хлорированные и бромированные соединения.

При проведении исследования открытых площадок сжигания электронных отходов в области Guiyu в Китае были обнаружены концентрации этих суперэкоксикантов, начиная от 84–174 пг ТЕQ/г до 627–13 900 пг ТЕQ/г (в пересчете на сухую массу). Это намного выше уровней в незагрязненных почвах, в которых обычно эти концентрации ниже 1 пг ТЕQ/г и редко превышают 10 пг ТЕQ/г, в том числе в загрязненных городских почвах и в грунтах промзон.

Высокие концентрации диоксинов, 988 и 32 600 пг ТЕQ/г, были также обнаружены в речных донных отложениях в районе сжигания ОЭЭО на открытых площадках в Гане. Эти уровни намного выше концентраций таких соединений в озерных и речных отложениях большинства стран мира, поскольку даже в умеренно загрязненных отложениях содержание этих веществ обычно ниже 20 пг/г ТЕQ. Уровни диоксинов в почве и отложениях на многих открытых площадках сжигания остатков переработки ОЭЭО в Нидерландах и США также превышали 1 тыс. пг ТЕQ/г.

Во многих развивающихся странах остатки электронных отходов не перерабатываются, а сбрасываются на поля и другие открытые площадки, а также вдоль рек и вод-

Риски, связанные с переработкой электронных отходов

Операции переработки	Профессиональные риски	Экологические риски
Традиционное обращение с отходами		
Захоронение		Выщелачивание металлов (Pb, Cu, Ni, Sb, Cd, Zn и др.) и органических компонентов (бромированных антипиренов, пластификаторов и др.) Испарение ртути и метилртути
Сжигание		Эмиссия различных металлов и органических компонентов с отходящими газами (диоксинов, бромированных антипиренов, ПАУ, Cu, Pb, Sb и др.) Выщелачивание различных компонентов из золы (диоксины, Cu, Pb, Sn и др.)
Контролируемая переработка		
Сбор и демонтаж	Содержащая различные опасные соединения пыль, образующаяся во время проведения демонтажных работ Пыль, содержащая Pb и оксид Ва из разбитых ЭЛТ Осколки стекла ЭЛТ, образующиеся в случае повреждения Летучие соединения из поврежденных компонентов электронного оборудования	Эмиссия летучих соединений из поврежденных компонентов
Шредирование	Пыль, содержащая различные соединения (бромированные антипирены, фталаты, Cd и др.)	
Пирометаллургические процессы	Содержащие различные компоненты (Pb, Cd, Hg, Be, бромированные антипирены, диоксины, фталаты и др.) пыль и пары шредированных материалов, образующиеся в процессе плавления	Эмиссия различных металлов (Pb, Cd, Hg, Be и др.) и органических компонентов при плавильных процессах (бромированные антипирены и диоксины)
Гидрометаллургические процессы	Пары кислот, содержащие различные опасные компоненты	
Переработка пластика	Пыль и пары различных хлорированных и бромированных компонентов (бромированные антипирены и диоксины)	Эмиссия различных хлорированных и бромированных компонентов при термических процессах
Неконтролируемая переработка		
Сбор и демонтаж	Пыль, образующаяся во время проведения демонтажных работ и содержащая различные соединения (например, Pb- и Ва-оксиды из разбитых ЭЛТ) Осколки стекла ЭЛТ, образующиеся в результате нарушения целостности Летучие соединения из поврежденных компонентов электронного оборудования	Эмиссия пыли и паров, содержащих различные металлы (Pb, Zn, Cu, Sn, Sb, Cd, Ni, Hg и др.) и органические компоненты (например, бромированные антипирены) в окружающую среду
Нагревание печатных плат	Воздействие паров различных веществ из припоя и компонентов печатной платы (Pb, Sn, бромированные антипирены и диоксины)	Выщелачивание различных компонентов из отходов захоронения печатных плат
Очистка тонера	Воздействие пыли тонера, в том числе черного красителя	Вымывание различных компонентов из пустых и выброшенных тонер-картриджей
Экстракция кислотой	Воздействие кислотных паров, содержащих различные опасные компоненты	Выщелачивание различных металлов (Pb, Sn, Cu, Sb, Ni, Hg, Ba, Cd) и органических компонентов (бромированных антипиренов, фталатов, диоксинов) из отходов захоронения
Шредирование	Пыль и пары различных металлов и органических компонентов, присутствующих в пластике (бромированные антипирены, фталаты, Cd и др.)	Эмиссия пыли, содержащей компоненты различных пластиков, в окружающую среду
Процесс сжигания	Воздействие различных металлов (в первую очередь Cd, Cu, Pb, Zn, Sb) и органических компонентов (в первую очередь ПАУ, ПХБ, диоксины), содержащихся в дымовых газах	Эмиссия различных металлов (в первую очередь Cd, Cu, Pb, Zn, Sb) и органических компонентов (в первую очередь ПАУ, ПХБ, диоксинов)
Захоронение отходов переработки	Вторичное воздействие через загрязненные воду и продукты питания	Поступление различных металлов и органических соединений в грунт и водные источники

но-болотных угодий. Эти дампинговые материалы состоят из свинцового стекла ЭЛТ, остатков печатных плат после огневой и кислотной обработки, смешанных пластиков, остатков от переработки, включая шламы и золу от открытого сжигания и растворы кислот и шламов от экстракции.

Испарение и выщелачивание загрязняющих веществ из этих свалок вносит существенный вклад в местное, а также глобальное загрязнение. Повышенные уровни ряда опас-

ных веществ, в том числе полиароматических углеводородов, полибромированных дибензоэфиров, полихлорированных бензолов и различных тяжелых металлов, были обнаружены в почве и фильтрах свалок в районе Guiyu в Китае. Концентрации полибромированных дибензоэфиров в почве на двух объектах захоронения составляли 1 169 и 1 140 мкг/кг соответственно, что в 10–60 раз выше, чем в других районах мира, загрязненных полибромированными дибензоэфира-

ми, в то время как концентрация меди на двух объектах равнялась 496 и 712 мг/кг соответственно, что выше пороговой концентрации этого соединения (190 мг/кг). В осадке рек, прилегающих к свалкам, содержится 743 мкг/кг полихлорированного бензола. Эта концентрация превышает значение канадского норматива в 2,7 раза.

Риски, связанные с различными процессами переработки электронных отходов приведены также в таблице. ♻️