

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОЭЭО

*Т. С. Смирнова, к. т. н., национальный эксперт ЮНИДО
В. А. Комиссаров, директор Отраслевой ассоциации переработчиков электронной и
электробытовой техники (АПЭТ), 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 является не только важным элементом в общей структуре управления отходами, но и представляет интерес с точки зрения материального и ресурсного потенциала.

СОДЕРЖАНИЕ ОПАСНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ОЭЭО

Электронные отходы содержат широкий спектр токсичных и опасных компонентов, которые могут представлять серьезную угрозу для здоровья человека и окружающей среды при совершении различных операций обработки, переработки или захоронения. В состав электронных отходов входят свинец, кадмий и ртуть, а также стойкие органические соединения, такие как бромированные антипирены (BFRs) и фталаты. При исследовании композиционного состава электронных отходов специалистами швейцарской федеральной лаборатории по испытаниям и исследованиям материалов (Empa) было обнаружено, что в среднем они содержат 2,7 % загрязняющих веществ. Многие из этих компонентов нельзя выделить в чистом виде, так как они являются частью сложных материалов. И в этом одна из причин высокой стоимости и трудоемкости операций безопасной переработки электронных отходов.

С другой стороны, электронные отходы должны рассматриваться в качестве вторичных ресурсов, так как содержат ценные компоненты, которые можно восстановить и снова использовать в производственном цикле. Например, в электронных отходах содержится значительное количество меди (5–20 % от общей

массы), относительно высокое содержание благородных металлов, таких как золото (0,1 %), серебро (0,2 %) и палладий (0,005 %). Эти металлы и дают более 95 % основной экономической выгоды от переработки электронных отходов. Тем не менее, и другие металлы и материалы могут быть переработаны с определенным экономическим эффектом, например, свинец, никель и некоторые виды пластиков. Таким образом, переработка электронных отходов является не только важным элементом в общей структуре управления отходами, но и представляет интерес с точки зрения материального и ресурсного потенциала. Увеличивая эффективность восстановления материалов из электронных отходов, можно снизить нагрузку на окружающую среду в плане сокращения добычи первичных металлов. Это означает, что меньше породы будет извлекаться для добычи руды и, соответственно, меньше пустой породы будет поступать в отвалы, кроме того, в металлургических процессах сократится образование отходов, сточных вод и вредных выбросов. Иными словами, комплексная переработка ОЭЭО, в результате которой происходит извлечение металлов, направляемых на производство новой продукции, позволяет уменьшить негативное воздействие добычи и обработки металлов.

Согласно Директиве 2002/96/ЕС об ОЭЭО (the WEEE Directive) в список компонентов и материалов, которые следует отделять от собранных ОЭЭО, входят:

- конденсаторы, содержащие полихлорированные бифенилы (ПХБ);
- ртутьсодержащие компоненты, такие как выключатели, подсветки и лампы;
- батареи;
- печатные платы (ПП) мобильных телефонов и других устройств;
- тонер-картриджи;
- пластики, содержащие огнестойкие бромированные антипирены;
- отходы асбеста и компоненты, которые содержат асбест;
- электронно-лучевые трубки (ЭЛТ);
- фреоны и углеводороды;
- газоразрядные лампы;
- ЖК-дисплеи с площадью поверхности более 100 см² и с задней подсветкой газоразрядными лампами;
- внешние электрические кабели;
- компоненты, содержащие огнеупорные керамические волокна;
- компоненты, содержащие радиоактивные вещества в концентрациях выше пороговых;
- электролит конденсаторов, содержащий опасные соединения.

Ниже приведены некоторые характеристики опасных компонентов электронных отходов.



Печатные платы. ПП используются в качестве базовой части электронного оборудования, обеспечивают электрические соединения смонтированных компонентов и присутствуют почти во всех типах электронных отходов, в том числе в сотовых телефонах, компьютерах, телевизорах и принтерах. ПП изготавливаются из стекловолоконных листов, закаленных с огнестойкой эпоксидной смолой. Чаще всего в смолу включают бромированные антипирены (BFRs), такие как тетрабромбисфенол-А (ТББФА) и полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ), могут присутствовать хлорированные углеводороды и неорганические соединения. Стекло в листах из стекловолокна содержит оксиды общих базовых элементов (оксид кремния, оксид кальция и оксид алюминия). ПП состоят из слоев с медными включениями, улучшающими проводимость. Это наиболее ценные части электронных отходов из-за возможности извлечения меди и благородных металлов в процессе переработки. Выключатели, резисторы и кон-

денсаторы, установленные на ПП и подключенные к медной схеме припоем, обычно состоят из смеси олова и свинца (в соотношении 60/40), иногда сурьмы или сплава меди и бериллия (2 % бериллия). Типичное содержание припоя в ломе ПП составляет 4–6 % по весу, или примерно 50 г/м² ПП. Компоненты, припаянные к платам, разнятся и могут содержать множество других веществ, в том числе опасных: реле и выключатели часто содержат ртуть; выключатели могут содержать небольшое количество кадмия, он также используется как оболочка для металлизированных контактов; светоизлучающие диоды (LED) содержат арсенид галлия (GaAs); резисторы, конденсаторы и микрочипы содержат различные металлы, среди которых медь и алюминий являются наиболее распространенными.

Батареи. Батареи присутствуют во всех портативных электронных устройствах, таких как ноутбуки, сотовые телефоны и портативные электроинструменты. С экологической точки зрения аккумуляторы и аккумуляторы

представляют опасность за счет содержания ртути, кадмия, никеля и свинца (ртутьсодержащие батареи запрещены во многих странах). Распространены никель-кадмиевые (Ni-Cd), никель-металлгидридные (NiMeH), литий-ионные и свинцово-кислотные аккумуляторы.

Другие ртутьсодержащие компоненты. Ртуть широко используется в ЭЭО из-за своих уникальных свойств: способности равномерно расширяться при нагревании и хорошо проводить электрический ток. Например, ртуть могут содержать термостаты, датчики, реле и выключатели в обогревателях, печах, вентиляционном оборудовании и кондиционерах, выравнивающих аппаратах, насосах и электрических плитах, а также газоразрядные лампы, используемые для подсветки в жидкокристаллических дисплеях, некоторое медицинское и телекоммуникационное оборудование.

Электронно-лучевые трубки. Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ) содержат наибольшее количество опасных веществ – это свинец, кото-



рый используется для защиты от рентгеновских лучей, образующихся во время ускорения электронов. Старые полихромные ЭЛТ могут содержать 2–3 кг свинца, новые – около 1 кг свинца. Конус из стекла (стеклянная воронка) содержит 20–24 % PbO; трубка воронки – 28–30%, а стеклокристаллический припой – около 80 % PbO. Стекло экрана (или стеклянной панели) обычно не содержит свинца. Свинец, инкапсулированный в стекле, иммобилизован до тех пор, пока стекло не повреждено. При нарушении целостности стекла свинец может попасть в окружающую среду. Стекло ЭЛТ изнутри покрывают флуоресцентным слоем люминофора, содержащего различные металлы, которые представляют опасность ингаляционного отравления, если проводить работы по его извлечению в сухом состоянии. Некоторые старые экраны с ЭЛТ могут быть покрыты сульфидом кадмия. Кроме того, экран и/или конус из стекла может содержать сурьму. Электронная пушка ЭЛТ содержит небольшую пластину для газопоглощения весом примерно 1–2 г, включая раму, которая содержит барий и его соединения.

Жидкокристаллические дисплеи. Жидкокристаллические дисплеи (LCD) встречаются во всех видах электронного оборудования, где есть плоский экран, например, в сотовых телефонах и ноутбуках. ЖК-дисплеи содержат жидкие кристаллы, которые внедрены между стеклом дисплея и электрическими элементами управления, мало изученные на предмет наличия опасных свойств и токсичности. ЖК-дисплеи с задней подсветкой газоразрядными лампами содержат ртуть.

Пластики и полимеры. Пластики, составляющие более 20 % электронных отходов, также представляют опасность из-за наличия в своем составе токсичных соединений. Поливинилхлорид (ПВХ) – один из наиболее широко используемых полимеров, часто встречается в ЭЭО, так как используется для покрытия проводов и кабелей. ПВХ содержит хлор (до 56 % по массе) и различные добавки. В обычном состоянии ПВХ не опасен, так как хлор связан с углеводородным полимером, но при термиче-

ской обработке он может высвобождаться и приводить к образованию хлорированных диоксинов и соляной кислоты. В качестве добавок используются кадмий, свинец, а также органические соединения как стабилизаторы, фталаты как пластификаторы и соединения брома (например, ПБДЭ и ТББФА) как антипирены. Эти добавки могут присутствовать и в других видах пластиков. Также требует повышенного внимания при планировании процессов переработки политетрафторэтилен (ПТФЭ), или тефлон (торговая марка компании DuPont). Хотя тефлон, как правило, присутствует в ЭЭО в значительно более низких концентрациях, чем другие полимеры, он является чрезвычайно опасным, поскольку его термическая обработка способствует образованию широкого спектра токсичных и стойких соединений.

ПХБ-содержащие конденсаторы. Конденсатор является пассивным электронным компонентом, который широко используется в электронных схемах. Он состоит из пары проводников, разделенных изолирующим диэлектриком. В старых конденсаторах диэлектриком являлись ПХБ-масла (полихлорированные бифенилы). Из-за своей опасности и токсичности ПХБ запрещены в большинстве стран мира. Тем не менее, ПХБ-содержащие конденсаторы по-прежнему используются, хотя и редко, и их трудно отличить от других конденсаторов даже квалифицированному персоналу.

Терморегулирующее оборудование, содержащее фреоны. Холодильные схемы в холодильниках, морозильных камерах и кондиционерах содержат фреоны (хлорфторуглероды, гидрохлорфторуглероды и фторуглероды), которые при попадании в атмосферу оказывают негативное воздействие на озоновый слой.

Картриджи с тонером. Картриджи с тонером содержатся во всех лазерных принтерах, копировальных машинах, факсимильных аппаратах и т. д. Тонер представляет собой тонкодисперсный порошок, состоящий в основном из частиц углерода и полимеров. Тонеры также могут содержать до 7 % сажи, полученной в результате неполного сгорания тяжелых нефтепродуктов.



Электронные отходы должны перерабатываться с использованием современных технологий и эффективных систем контроля выбросов. Однако из-за недостаточно развитого законодательства и отсутствия эффективных систем переработки ОЭ-ЭО во многих странах такая практика находится в зачаточном состоянии.

ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ В КОНТРОЛИРУЕМЫХ И НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ

Цивилизованным и ответственным решением является переработка электронных отходов с целью восстановления ценных материалов либо получения энергии, поскольку процесс сжигания некоторых компонентов электронных отходов также может рассматриваться как альтернативная переработка, если он используется для получения энергии. Однако в большинстве случаев сжигание используется только для уменьшения объемов отходов перед захоронением.

Процессы и методы переработки электронных отходов разнообразны; их вариации во многом зависят от условий, в которых они осуществляются. В развитых странах мира экономика способствует применению комплексных решений переработки электронных отходов, и, следовательно, значительная часть электронных отходов собирается и отправляется перерабатывающим организациям, имеющим разрешение на этот вид деятельности. На таком предприятии

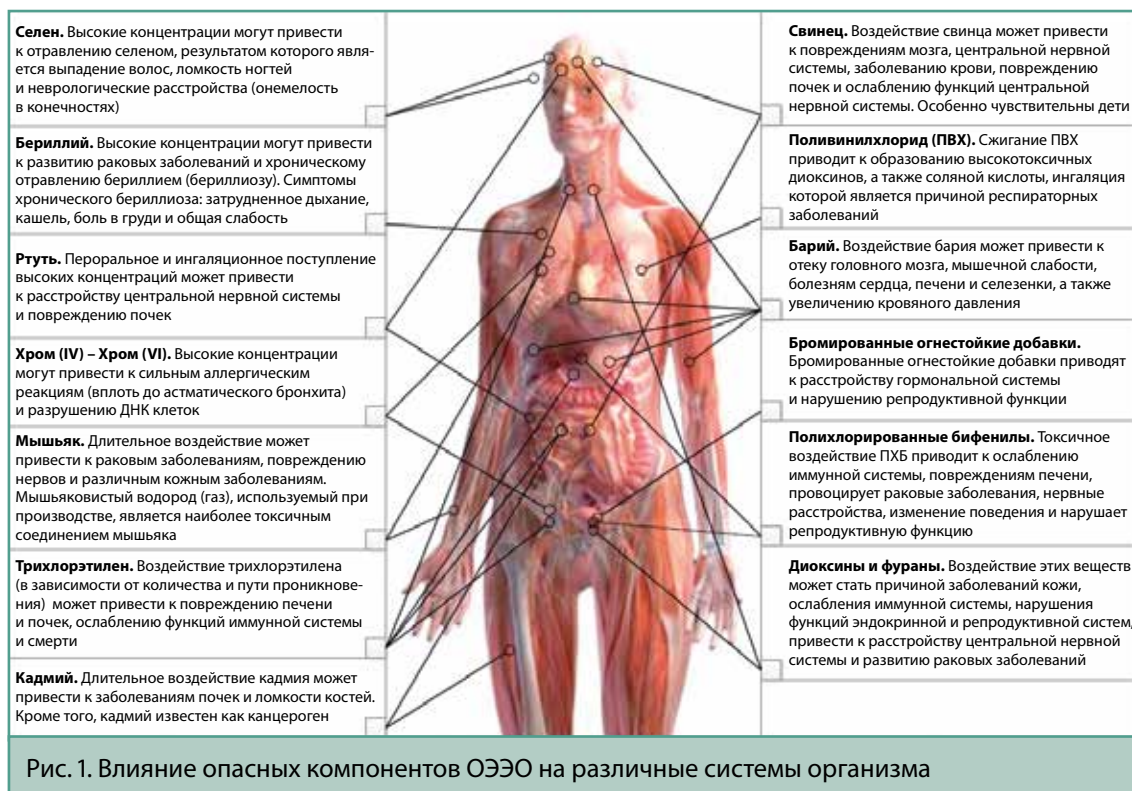


Рис. 1. Влияние опасных компонентов ОЭЭО на различные системы организма

окружающая среда подвержены воздействию опасных выбросов, образующихся во время демонтажа и измельчения электронных отходов, выщелачивания кислотой и высокотемпературной обработки.

Отсутствие необходимого контроля за выполнением операций приводит к тому, что выбросы токсичных соединений и образование отходов в этих процессах более значительны, чем при контролируемой переработке. На рис. 1 проиллюстрировано влияние опасных компонентов ОЭЭО на различные системы организма.

Таким образом, используются хищнические, небезопасные методы переработки и совершенно не уделяется внимания опасному влиянию таких методов на окружающую среду и здоровье человека. Кроме того, методы неофициальной переработки являются менее эффективными, чем процессы, имеющие место в официальной перерабатывающей промышленности, с точки зрения степени извлечения ценных материалов.

Сбор и демонтаж ОЭЭО в контролируемых условиях

Первым шагом в процессе переработки ОЭЭО является ручной демонтаж, позволяющий отделить цельные однородные части, которые могут быть повторно использованы, ценные и восстанавливаемые компоненты, например, металлические, пластиковые или стеклянные части и, наконец, опасные компоненты, которые требуют специальной обработки (ртутьсодержащие компоненты, аккумуляторы, стекло ЭЛТ и ЖК-дисплеев и др.). После разделения содержащие ртуть компоненты, как правило, направляются на специализированные объекты рекуперации ртути или на предприятия по сжиганию опасных отходов с современными системами очистки дымовых газов. Аккумуляторные батареи обычно направляются на металлургические предприятия по восстановлению кадмия, никеля путем нагрева батарей в печи. Стекло ЭЛТ, содержащее свинец, может быть использовано в производстве нового свинцового стекла, в металлургических процессах восстановления свинца, стекло ЖК-дисплеев может быть использо-

ценные материалы и опасные вещества отделяются друг от друга и соответствующим образом перерабатываются.

Переработка электронных отходов в контролируемых условиях, как правило, включает две основные стадии. На первой стадии электронные отходы демонтируются и механически обрабатываются для разделения материалов и последующего восстановления. На второй стадии используются металлургические процессы восстановления металлов и различные процессы для восстановления пластика и других материалов.

Риски, связанные с переработкой электронных отходов, в контролируемых условиях минимизированы из-за необходимости соблюдения требований законодательства, использования современных технических средств переработки отходов и очистки выбросов, обеспечения безопасности рабочего процесса. Однако и в этих условиях возможно загрязнение окружающей среды различными опасными веществами.

Однако большая часть электронных отходов в мире отправляется, в основном нелегально, в развивающиеся страны, такие как Китай, Индия, Нигерия и Гана, где люди с низ-

ким достатком, используя примитивные средства и методы, извлекают из электронных отходов ценные материалы. Немалая часть электронных отходов в мире сжигается в мусоросжигательных печах в составе ТБО или просто отправляется на свалки, и только незначительная часть (около 10 %) обрабатывается должным образом.

Сектор неформальной переработки в развивающихся странах имеет одну основную цель: восстановить ценные материалы, содержащиеся в электронных отходах, в том числе медь, сталь, пластик, алюминий, тонер, печатные платы. Эта деятельность часто осуществляется в небольших мастерских или под открытым небом, используются примитивные методы обработки.

Большинство рисков возникает из-за бесконтрольной деятельности по переработке электронных отходов. Рудиментарные методы переработки включают ручную разборку и сортировку; нагревание и кислотное выщелачивание печатных плат; измельчение, плавление и экструзию пластиковых частей; открытое сжигание проводов с пластиковым покрытием и других элементов; очистку и сбор тонеров из картриджей. Население и

вано вторично в производстве стекла, и т. д.

Риски, которые появляются во время сбора электронных отходов, в основном связаны со случайным поступлением опасных веществ в окружающую среду из-за разрушения отдельных компонентов.

Особую опасность представляют:

- эмиссия ртути в результате повреждения таких компонентов, как источники света (например, люминесцентные лампы в сканерах и копировальных машинах в ЖК-дисплеях) и выключатели. Исследование, проведенное в США, показало, что 17–40 % ртути в разбитых люминесцентных лампах с низким содержанием ртути медленно поступает в воздух в течение двухнедельного периода после разрушения, почти треть ртути из этого количества высвобождается в первые 8 ч. Таким образом, повышенное содержание ртути в воздухе наблюдается в непосредственной близости от разбитых лампочек, и можно предположить, что концентрация ртути может превышать предельные нормы воздействия при ингаляционном поступлении;

- эмиссия в окружающую среду тонкодисперсной пыли, содержащей люминофоры, а также оксида бария и свинца в результате нарушения целостности ЭЛТ, которая при вдыхании представляет опасность для здоровья рабочих. Для того чтобы избежать появления в воздухе люминофоровой дисперсии, операции по ее удалению должны проводиться с использованием мокрых методов. Пыль оксида бария может появиться, если пластина с газопоглотителем из ЭЛТ не была тщательно удалена до процесса измельчения. Стеклопиль, содержащая свинец, образуется при измельчении стекла ЭЛТ при отсутствии или плохой работе вентиляционной системы. Кроме того, существует также физический риск, связанный с обработкой и демонтажом ЭЛТ: вследствие работы под вакуумом могут иметь место имплозии;

- эмиссия различных вредных соединений вследствие использования пневматических электроинструментов, которые поддерживают взвешен-

ное состояние опасной пыли ОЭЭО. Например, повышенные концентрации полибромированных дифенилэфиров и тетрабромбисфенола А были обнаружены на двух объектах демонтажа и первичной переработки в Швеции. Кроме того, в крови рабочих одного из таких объектов были зафиксированы повышенные уровни этих токсичных соединений.

Кроме этих прямых рисков, возникающих в ходе сбора и демонтажа, при неполном удалении опасных компонентов могут возникнуть проблемы на последующих стадиях переработки ОЭЭО.

Имеют место также риски, связанные с механическим измельчением и разделением в контролируемых условиях.

Уменьшение размера перерабатываемых материалов, например печатных плат, достигается в процессах шредирования или дробления. После уменьшения размера материалы сортируются в определенные выходные фракции на основе их конкретных физических характеристик, таких как размер, форма, цвет, плотность, электрические и магнитные характеристики. Типичные процессы, используемые при разделении фракций, – это магнитная сепарация содержащих железо частей, вихретоковое разделение цветных металлов по электропроводности (например, меди и алюминия) и плотности и гравитационное разделение (с использованием воды (флотация) или воздуха (просеивание)) пластиков.

В качестве альтернативы или в дополнение к ручной сортировке используются методы оптической сортировки. Окончательными выходными потоками, как правило, являются потоки компонентов, которые в дальнейшем могут быть использованы для восстановления или переработки. Магнитная фракция направляется на металлургические заводы, алюминиевая – на предприятия по производству алюминия, медная фракция собирается для медеплавильных производств, в некоторых случаях собираются также различные пластиковые фракции.

На этой стадии также образуется так называемая «легкая фракция шредирования» – отходы, состоящие из

смеси пластмасс, стекла, дерева и резины. Она направляется на дальнейшую переработку, сжигание или захоронение.

Механическое измельчение и разделение всегда приводят к образованию пыли (пластиков, металлов, керамических деталей, стекла), а иногда и к эмиссии газов из компонентов, которые обрабатываются.

Пыль может представлять опасность при вдыхании и попадании на кожу работников, а также приводить к загрязнению окружающей среды. Вдыхание пыли может стать причиной обострения респираторных заболеваний (например, эмфиземы легких, хронической обструктивной болезни легких и т. д.), а также интоксикации вследствие воздействия химических веществ, содержащихся в пыли. Например, измельчение пластика приводит к образованию пыли, содержащей различные органические соединения, такие как бромированные антипирены, а также металлы, которые могут присутствовать в пластике в качестве добавок. Работники такую токсичную пыль разносят на одежде по домам и общественным местам.

В подтверждение возможности высвобождения опасных веществ во время механической обработки электронных отходов можно привести результаты исследования, проведенного на площадке перерабатывающего предприятия США, в ходе которого были обнаружены высокие уровни кадмия и свинца (0,27 и 1,4 мкг/м³ соответственно) в непосредственной близости от шредера. Бромированные антипирены были обнаружены в концентрации миллиграммы на грамм в тонкой фракции пыли системы очистки отходящих газов цеха механической переработки электронных отходов одного из швейцарских заводов.

Высокие концентрации полибромированных дифенилэфиров были обнаружены в крови работников различных объектов утилизации электронных отходов в Европе, что являлось результатом вдыхания ими загрязненной пыли на предприятии. ♻️

(Продолжение – в следующем номере)