

ПЕРЕРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА ПО ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

К. В. Ладыгин, С. И. Стомпель, Ю. А. Спектор, ЗАО «Безопасные Технологии»

Герой остросюжетного боевика, выбрасывая мобильник после каждого разговора, не должен по сценарию задумываться, что потом происходит с гаджетом. Между тем он не одинок: в мире ежегодно выбрасывают около 160 млн мобильных телефонов, и это не кино, а только капля в море ОЭЭО – отходов электрического и электронного оборудования.

По историческим меркам отходы электронных компонентов являются самым молодым видом отходов. Директива ЕС, впервые системно регламентирующая оборот ОЭЭО, была принята только в 1980-х гг. Несмотря на то что общий объем электронных отходов в мире не превышает 5 % от общего количества, технологические, экологические и финансовые проблемы, создаваемые этой группой отходов, весьма значительны.

Отходы электроники содержат целый спектр опасных загрязнителей, среди которых можно выделить бериллий, ртуть, мышьяк, свинец, кадмий, поливинилхлорид (который сам по себе нейтрален, но переработка которого является острой экологической проблемой). Однако наряду с загрязнителями ОЭЭО содержат драгоценные металлы, такие как золото, серебро, платина и палладий, что де-

лает эти отходы ценным вторичным ресурсом.

Поскольку ввиду опасности электронных отходов их экспорт запрещен Директивой ЕС, в этой отрасли, как и везде, где жизненная необходимость сталкивается с государственным регулированием, возник теневой рынок, финансовые объемы которого, по сведениям популярной испанской газеты El Mundo, вполне сравнимы с мировым оборотом наркобизнеса. По оценкам ЮНЕП, ежегодно в мире образуется до 50 млн т ОЭЭО, и их количество растет и будет расти быстрее, чем количество других видов отходов.

В городе Гуию (Китай, провинция Гуандун) находится самая большая свалка электронного мусора в мире, которая собрала 56 % мировых электронных отходов. Свалки, склады и мастерские разбросаны по городу и деревням на территории в 55 тыс. км² (значительно больше площади Мос-

ковской области), грунтовые воды под этим регионом и на 60–100 км вокруг него отравлены и непригодны для питья, в то же время производства вторичного сырья на этой территории ежегодно приносят городу до 3 млрд долл. прибыли. Интересно, что законодательно импорт электронных отходов в Китай не разрешен. Для сравнения: согласно отчету компании Apple, за 2016 г. она извлекла почти тонну золота при переработке своих старых устройств, что принесло компании чистую прибыль 40 млн долл. Очевидно, что переработка WEEE – перспективное и прибыльное направление (см. таблицу).

Россия генерирует около 3,75 % мирового объема электронных отходов, с которыми должны справляться девять перерабатывающих предприятий, и только два из них имеют специальные линии для компьютерного лома. Согласно п. 8 ст. 12 закона № 89-ФЗ, захоронение отходов, содержащих полезные компоненты, запрещено. Перечень таких отходов утвержден распоряжением Правительства РФ от 25.07.2017 № 1589-р, и отходы электроники в него включены, что увеличивает нагрузку на региональных операторов. Стоимость импортной линии для переработки электронных компонентов под ключ может составлять в среднем 3 млн долл. США, при этом прибыль составит всего 1,5–2 долл. на один перерабо-

Классификация печатных плат в зависимости от содержания золота

Категория	Содержание золота, ppm	Возникновение (перечень не является исчерпывающим и окончательным)
Ультранизкая	До 20	Неподготовленные платы ЭЛТ-мониторов (ТВ и ПК), HiFi, источников питания, мелкой бытовой техники и т. д.
Очень низкая	До 50	Подготовленные платы ЭЛТ-мониторов (ТВ и ПК), HiFi, источников питания, мелкой бытовой техники и т. д.
Низкая	До 100	Выщелоченные IT-платы (от очень низкого до низкого)
Средняя	До 200	IT (ПК-сервер, принтер), различные разъемы, ЖК-мониторы, материнские платы
Высокая	До 300	IT/телекоммуникационные платы
Очень высокая	Более 300	Мобильные телефоны, IT-составляющие (процессоры и т. д.)



Фото 1. Подготовленные для переработки печатные платы



Фото 2. Установка термической деструкции непрерывного действия

танный компьютер, то есть срок окупаемости будет слишком велик.

Но ОЭЭО являются потенциальным источником ценных материалов. Наиболее выгодны для переработки печатные платы (фото 1), компьютерные процессоры, материнские платы телефонов и гаджетов. В последних содержание драгметаллов намного выше (см. таблицу).

Одна из технологий переработки предполагает загрузку электронных отходов в специализированную печь, где происходит выплавка металлических и технологическое сжигание органических компонентов электронных плат. Данные печи, как правило, являются импортным дорогостоящим оборудованием, предполагающим сложные процессы. К тому же разнообразие химического состава исходного сырья приводит к следующим проблемам:

- химию плавки значительно усложняет наличие изолирующих материалов и пластмасс;
- керамические примеси (например, из компьютерных процессоров) при шахтной плавке приводят к потере добываемых металлов;
- высокое содержание меди сказывается на расходе присадок и понижает содержание благородных металлов.

Широко применяется также процесс гидрометаллургической переработки, использующий азотную кислоту или раствор нитрата меди в промышленных количествах. Этот процесс требует мощной системы очистки сточных вод, генерирует токсины и канцерогены. К тому же такие технологии очень энергоемки, значительная часть отходов электронного скрапа все равно подлежит захороне-

нию, в процессе утрачиваются пластики и текстолит.

В поисках решения упомянутых проблем международная компания Eсо-CARBON предлагает осуществлять процесс в две стадии и использовать пиролиз отходов (экспериментальные испытания проводились на оборудовании производства ЗАО «Безопасные Технологии» УТД-2-200) (фото 2) в качестве технологии для получения промежуточного сырья, направляемого на традиционную переработку.

Такое решение сразу дает ряд преимуществ:

- максимальная степень очистки от сторонних материалов с получением дополнительных кондиционных продуктов;
- высокая степень извлечения драгоценных материалов;
- сухой остаток от первой стадии, имеет увеличенную концентрацию драгметаллов и в большей степени гомогенизирован, что облегчает получение собственно драгметаллов из промежуточного сырья.

В отличие от традиционного процесса, где органические компоненты плат выжигаются с последующей очисткой продуктов горения, предлагаемая технология позволяет также получить топливо: до 30 % от первоначального объема для плат на эпоксидной основе и до 18 % для плат на основе фенолформальдегидных смол.

В этом переработка лома электронных компонентов подобна переработке любого другого пригодного для пиролиза органического сырья. Первичное сырье предварительно измельчается и в камере пиролиза подвергается нагреву без доступа кислорода

воздуха. Получившиеся летучие и жидкие углеводороды направляются в газо-жидкостный сепаратор на разделение. Вследствие высокого содержания пластика в платах возможно использование продуктов процесса в качестве топлива для поддержания температуры в реакторе. Согласно проведенным лабораторным анализам теплота сгорания составляет 34–37 МДж/кг. Важно отметить, что жидкие стоки на данной стадии процесса не формируются, а газовые выбросы – это только продукты сгорания дизельного и пиролизного топлива, очистка которых не столь сложна. В сухом остатке пиролизной стадии процесса – углерод, драгоценные металлы, фракция меди и стекловолокно.

Известно, что для первичного сырья (рудных материалов) содержание платиноидов в суммарном количестве 2–3 г на 1 т считается весьма рентабельным в переработке [1]. Содержание драгметаллов во вторичном электронном сырье исчисляется килограммами или даже десятками килограммов на 1 т. Неудивительно, что Правительство РФ обратило внимание на этот ресурс, законодательно запретив его бездумное захоронение. В то же время российские производители обладают достаточными возможностями, чтобы распоряжения правительства были выполнены. ♻️

ЛИТЕРАТУРА

1. Баркан М., Чиненкова М. Технология извлечения драгоценных металлов из отходов электротехники [Электронный ресурс] <http://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=233>.