

УДК 669.054

МЕЗЕНЦЕВ Е.А., аспирант (ЮЗГУ)
Научный руководитель **БУРЫХ Г.В.** к.х.н., доцент (ЮЗГУ)
г. Курск

ПЕРЕРАБОТКА «ЭЛЕКТРОННОГО МУСОРА» МЕТОДОМ РАФИНИРОВАНИЯ

Редкий современный человек представляет свою жизнь без смартфона, ноутбука и холодильника, — причём «умного», который информирует хозяина о том, какие продукты уже закончились. Однако зачастую немалая часть электроники становится ненужной своим владельцам сразу после выхода новой модели. Мир XXI века захлестывает электронный мусор. Электронные отходы образуются, когда электронное изделие выбрасывается по истечению срока его службы или же при возникновении серьезной неисправности. Быстрое распространение технологий и ориентированность общества на потребление приводят к образованию крайне большого количества электронных отходов.

По данным экспертов, каждый год в мире генерируется примерно 50 млн тонн электронного мусора. К 2050 году эта цифра может достигнуть порога в 120 млн тонн [1]. Неисправные или уже немодные смартфоны, планшеты, умные часы, компьютеры, ноутбуки, моноблоки, телевизоры, — всё это относится к категории «электронные отходы». Сюда же причисляют части всех названных устройств и другую электронику, среди которых — батарейки, платы, аккумуляторы, крупная и мелкая бытовая техника, элементы кондиционеров, неисправное промышленное и медицинское оборудование, лампы, светильники, игрушки, инструменты. Всё это зачастую содержит в себе множество опасных и ядовитых веществ, а в случае с медицинским оборудованием — порой еще и радиоактивных.

Отходы радиоэлектронной промышленности (e-waste) — один из видов отходов, содержащих выброшенные электронные и прочие электрические устройства, а также их части. Электронные отходы могут иметь высокие классы опасности из-за таких содержащихся в них веществ, как свинец, медь, ртуть, полихлорированные дифенилы, поливинилхлорид [2]. При этом данная категория мусора содержит много ценных цветных металлов (платину, медь, серебро и золото). Нерегулируемое обращение радиоэлектронного хлама оборачивается потерей килограммов драгметаллов и цветмета.

Радиоэлектронные отходы можно разделить на две группы. Первая из них включает в себя химические источники питания, гальванические элементы, батарейки, аккумуляторы. Преимущественно именно в них содержатся тяжелые металлы, такие как никель, хром, кадмий и свинец, а также присутствуют растворы кислот или оснований.

Вторая группа включает в себя печатные платы, накопители, массивы, радиодетали, провода и так далее. Преимущественно в них также содержатся тяжелые металлы, такие как медь, олово, никель, цинк. Однако, кроме этого, в

них можно обнаружить редкоземельные металлы (золото, палладий, платину, серебро, тантал), а также фосфор, кремний, галлий, германий, различные пластмассы, керамику, стекло и кварц [3].

Токсичные элементы лома электроники бесконтрольно загрязняют воду и почву, проникают внутрь растений; отравленную воду пьют животные и люди. В результате у проживающих в неблагополучных регионах людей развивается множество видов патологий: злокачественные опухоли, заболевания сердца и сосудов, патология дыхательного аппарата [4]. Измерения, проводимые на мусорных свалках, куда свозятся и отходы электроники, демонстрируют превышающие норму уровни соединений брома, бромированных антипиренов, фталатов, пластификаторов, свинца и меди. Крайне опасными являются также соединения ртути, содержащиеся в люминесцентных лампах. Если последние попадают на свалки, жидкая ртуть легко проникает в почву и воду.

Важно также помнить, что электронный мусор нельзя сжигать. Под воздействием пламени происходит выброс газов и твердых веществ; из ставших ненужными электронных гаджетов при этом выделяются фенолы, бензолы, медь, а также кадмий, свинец и мышьяк. Пепел и зола, образующиеся в результате сгорания старой техники, содержат множество токсичных соединений [5].

С целью снижения отрицательного влияния на окружающую среду при неправильной утилизации радиоэлектронного лома в данной работе предложена его переработка методом рафинирования. Направление переработки радиоэлектронных отходов является перспективным, а также финансово выгодным. Благодаря его развитию можно будет существенно снизить количество выбрасываемой техники на неконтролируемые полигоны, тем самым уменьшив экологическую нагрузку, вызванную существованием подобного рода свалок. Применение рециклинга также способно снизить добычу природных ресурсов. Сама по себе добыча — дело очень затратное, сопровождающееся высокими рисками загрязнения окружающей среды побочными продуктами и отходами после добычи и переработки руды.

Существует несколько методов рафинирования металлов: пирометаллургический, электролитический и химический. В основе всех их лежит различие свойств разделяемых элементов: температур плавления, плотности, электроотрицательности и т.д. Для получения чистых металлов нередко используют последовательно несколько методов рафинирования [6]. Пирометаллургическое рафинирование осуществляют при высокой температуре в расплаве металлов [7]. Электролитическое рафинирование заключается в анодном растворении очищаемых металлов и осаждении на катоде чистых металлов в результате приобретения ионами основного металла электронов внешней цепи [8]. Разделение металлов под действием электролиза возможно вследствие различия электрохимических потенциалов примесей и основного металла. Химическое рафинирование основано на различной растворимости металла и примесей в растворах кислот или щелочей. Примеси, постепенно накапливающиеся в растворе, выделяются из него химическим путём [9]. Как известно, в основном электрические отходы представляют собой платы и

радиодетали, которые так или иначе имеют защитное покрытие благородными металлами, такими как золото и серебро (реже — платина). Базой же для них всегда является медь или её сплавы.

За основу был взят процесс электролитического рафинирования меди. Технология извлечения редкоземельных металлов достаточно проста: на аноде делается навеска в специальных мешках очищаемых отходов, а на катоде закрепляют медную пластину. Всё это помещается в раствор электролита, содержащий в себе смесь кислот, а также солей меди. На медную пластину будет осаждаться медь, а с катода будут выпадать в осадок редкоземельные металлы и прочие механические включения. Схема такой установки представлена на рисунке 1.

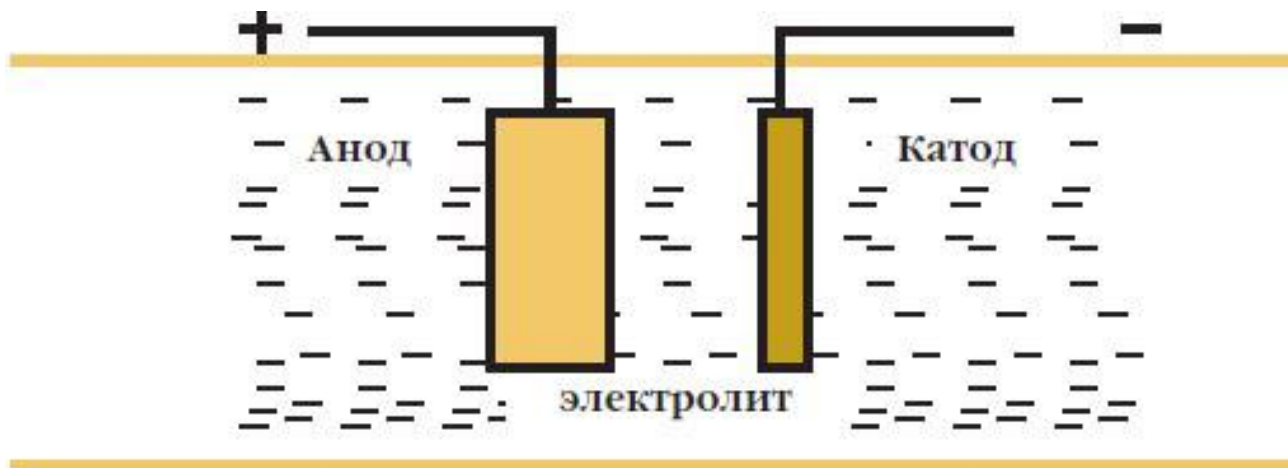


Рисунок 1. Схема установки для рафинирования отходов

Для проведения электрохимического рафинирования в качестве исходного раствора был приготовлен раствор сульфата меди концентрацией 150 г/л с добавкой 5 мл концентрированной серной кислоты. Навеска, состоящая из некоторых отходов, содержащих извлекаемые материалы, была помещена в мешочек, сделанный из достаточно пористой синтетической ткани, по центру которой был закреплен медный токовод. Данная конструкция представляет собой растворимый анод. Сила тока, используемая в процессе, составляла 0,9 А, а напряжение — 3,7 В. В качестве катода была взята медная пластина. Во время эксперимента через равные промежутки времени проводили измерение температуры раствора и оптической плотности. Полученный осадок был проанализирован и в нем были обнаружены металлы, а также частицы пластика и прочих загрязнений.

Кроме того, введение в раствор ПАВ позволило осаждать медь в виде мелкого порошка, который легко удалить с анодов. В дальнейшем это позволило проанализировать чистоту полученного металла. Использование мешочка в качестве анода имело свои плюсы и минусы: так, если размер пор слишком мал, то осадок забивал поры и переставал собираться на дне емкости. Приходилось периодически встряхивать емкость, чтобы осадок вымыло из пор и он выпал на дно.

Полученный вышеописанным методом осадок содержит в себе редкоземельные металлы. Очистить и разделить их можно с помощью кислот, гальваническим методом или подобным процессом рафинирования.

После наработки достаточного количества осадка было проведено исследование его состава. В осадке были обнаружены ионы Cu^{2+} , Sn^{2+} , Fe^{3+} , Ag^{+} . При попытках оттитровать раствор золота переходило в коллоид, что мешало точно определить концентрацию.

По полученным данным можно сделать вывод, что по обычной технологии электрорафинирования меди можно извлечь из отходов радиоэлектронных производств редкоземельные металлы, а также медь. Металлы, извлекаемые в этой работе, — лишь малая часть того, что можно извлечь таким образом потенциально. В частности, если отходы изначально содержат никель, цинк, висмут, палладий и платину, то их также возможно извлечь данным способом. Варьируя различные ПАВ, можно добиться равномерности осаждения металла на катод, что дает нам высокое качество и чистоту катодной меди. Это, в свою очередь, позволяет получать металлы высокой степени чистоты. Также каскадирование процесса и извлечение металлов из электролита дают дополнительное преимущество использования данной технологии.

Переработка отходов радиоэлектронных товаров всегда будет востребована в современном мире, — тем более что в противном случае большинство таких отходов подлежат захоронению, из-за чего почва загрязняется соединениями тяжелых металлов, а производители теряют полезные для промышленности ресурсы.

Список литературы:

1. Огунсейтан, О.А.; Schoenung, J.M.; Saphores, J-D.M.; Шапиро, А.А. (2009). «Революция в электронике: от электронной страны чудес к электронной пустоши». Наука. 326 (5953): 670–671. doi : 10.1126 / science.1176929. PMID 19900918.
2. Технология Организации Объединенных Наций (2 июня 2020 г.). «Глобальный мониторинг электронных отходов, 2020 Количество, потоки и потенциал экономики замкнутого цикла в 2020 году» (PDF). Глобальное партнерство по статистике электронных отходов. ISBN 978-92-808-9114-0 . Проверено 2 июля 2020 г. (13 МБ PDF)
3. Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: в 2-х томах.-Иркутск: ОАО «Иргиредмет»,1999.- 775 с.
4. Б. Бертфай. Справочник гальваностега. - М.: Машгиз, 1960 .- 396 с.
5. Царьков В.А. Опыт работы золотоизвлекательных предприятий мира.- М.:Издат.дом «Руда и металлы»,2004.-112 с.
6. Сучков А. Б., Электролитическое рафинирование в расплавленных средах - М.издательство, 1970 - 220с.
7. Бурых Г.В., Шевцова С.В. Сравнительная оценка эффективности различных методов определения металлов. Известия Юго-Западного университета. Серия Физика и химия. 2012 -№ .2. –С.182-186

8. Бурых Г.В., Шевцова С.В. Определение элементов методом пламенной атомной абсорбции при относительно низких пределах обнаружения. Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов: труды XI международной конференции – Курск, 2014.- С.353-357
9. Бурых Г.В., Шевцова С.В. Особенности определения некоторых токсичных элементов методом пламенной атомной абсорбции. Известия Юго-Западного Государственного Университета, серия Физика и химия. 2014 №1, С.78-81