

Тимошин В.Н., Янин Е.П., Тимошин И.В. Оценка отходов электронного оборудования как источника поступления ртути в окружающую среду // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2016, № 3, с. 2–7.

Жизненный цикл электронной техники, в настоящее время очень широко используемой в быту, в различных организациях и на предприятиях, в силу различных причин постоянно сокращается, что обуславливает образование значительных масс так называемого «электронного мусора», т. е. отходов электронного оборудования (ОЭО). По данным ЮНЕП, в настоящее время в мире ежегодно образуется от 20 до 50 млн. т таких отходов, причем их доля в общем количестве муниципальных отходов увеличилась с 4 до 6%, а темпы роста составляют 3–6 % в год против 1–2 % в год для прочих муниципальных отходов [1]. В современной России ежегодно образуется (средняя оценка) порядка 1,5 млн. т таких отходов, причем ежегодные темпы их увеличения составляют примерно 5%. Кроме того, в нашей стране к настоящему времени уже накоплена значительная масса вышедшей из строя электронной техники, требующей обезвреживания и утилизации. Например, уже в 2010 г. масса только устаревших (неиспользуемых) компьютеров оценивалась примерно в 650 тыс. т.

Принципиальным является тот факт, что ОЭО отличаются от других видов отходов достаточно сложной компонентной структурой, наличием в их составе значимых количество ценных компонентов (например, драгоценных металлов), материалов, являющихся потенциальным вторсырьем (например, пластик), а также различных токсичных веществ (табл. 1, 2). Согласно некоторым оценкам, на отходы электронного и электротехнического оборудования приходится до 70% всех вредных веществ, в конечном счете оказывающихся на свалках бытовых отходов, значительная часть которых в нашей стране не отвечает санитарным и экологическим требованиям.

Таблица 1

Фракционный состав электронного оборудования, масс% [5]

Компонент	ЖК-телевизор	Ноутбук
Металлы	44	35
Пластик	18,5	14,5
Печатная плата	11	6,5
ЖК-дисплей	6	18,5
Провода	1,5	1
Подсветка	1	1
Стекло	14	19,5
Прочее	4	4

Ртуть, присутствующая в ОЭО, не только является опасным поллютантом, но и компонентом, в значительной степени осложняющим процесс их безопасной утилизации. Основным источником поступления ртути в такие отходы являются лампы так называемой задней подсветки («backlighting»), представляющие собой люминесцентные (флуоресцентные) лампы с холодным катодом (это лампы, которые используются в ЖК-дисплеях, ЖК-проекторах, цифровых фоторамках, сканерах, факсах, копирах и других устройствах). Ртуть также применяется в некоторых плазменных дисплеях (в их старых моделях) и присутствует в мониторах с катодно-лучевыми (электронно-лучевыми) трубками. Например, по имеющимся данным, в странах ЕС потребление ртути для изготовления люминесцентных ламп задней подсветки в 2006 г. составило примерно 3–4 т, что соотносилось с ее количеством, использованной в тех же странах для производства обычных люминесцентных

ламп [9]. При этом общее содержание ртути в лампах задней подсветки (присутствующих в одном устройстве) изменялось от 2,5 мг (например, цифровая фоторамка, факс и т. п.) до 75 мг (например, монитор с ЖК-дисплеем, ЖК-проектор и т. п.).

Таблица 2

**Материальный состав некоторых видов бытовой техники, масс%,
по данным Швейцарской федеральной лаборатории естественных наук
и технологий (EMPA) [2]**

Материалы	Крупная бытовая техника	Малая бытовая техника	Потребительская электроника	Лампы
Черный металл	43	29	36	–
Алюминий	14	9,3	5	14
Медь	12	17	4	0,22
Свинец	1,6	0,57	0,29	–
Кадмий	0,0014	0,0068	0,018	–
Ртуть	0,000038	0,000018	0,00007	0,02
Золото	0,00000067	0,00000061	0,00024	–
Серебро	0,0000077	0,000007	0,0012	–
Палладий	0,0000003	0,00000024	0,00006	–
Индий	0	0	0,0005	0,0005
Бромированный пластик	0,29	0,75	18	3,7
Пластик	19	37	12	0
Стекло	0	0	19	0
Стекло	0,017	0,16	0,3	77
Другое	10	6,9	5,7	5

Люминесцентные лампы с холодным катодом (CCFL) являются очень ярким источником белого света и потребляют приемлемо небольшую мощность. Понятие «холодный катод» означает, что для «поджига» лампы не используются накальные цепи; как такового нет и катода – оба электрода равноправны, поскольку лампа работает на переменном токе. Тип разряда в лампах – дуговой, ток в цепи – несколько мА, поэтому электроды и вся колба лампы нагреваются. Лампы с холодным катодом имеют достаточно продолжительный срок службы без серьезного снижения своей производительности (от 15000 до 22000 час.). Такая лампа представляет собой закрытую стеклянную трубку, которая имеет по одному электроду с каждого конца, внутренняя поверхность покрыта люминофором и заполнена газом аргоном, смешанным с малым количеством ртутного пара. Когда к электродам подводится высокое напряжение, то формируется электрическая дуга, ионизирующая ртутный пар. Ионизированная ртуть испускает ультрафиолетовую радиацию, которая и засвечивает покрытие люминофора.

Дисплеи многих ЖК-мониторов в качестве задней подсветки имеют люминесцентные лампы с холодным катодом. Более того, до начала применения светодиодов такие лампы являлись единственным источником для подсветки жидкокристаллических экранов. Количество люминесцентных ламп задней подсветки, присутствующих в ЖК-мониторах, определяется размером матрицы и яркостью, которой обладает монитор. На практике чаще всего можно увидеть применение четырех или шести ламп задней подсветки, хотя в больших мониторах их число достигает 13–18.

В табл. 3 приведены «проектные» содержания ртути в ЖК-дисплеях с люминесцентными лампами задней подсветки (для сравнения – количество ртути в современной компактной люминесцентной лампе обычно составляет 2,5–3 мг, в стандартной линейной трубчатой лампе – от 10 до 40 мг [6]). Важно отметить, что реальные содержания ртути в лампах задней подсветки могут превышать приведенные выше количества (табл. 4). Об-

ращают на себя внимание достаточно большие количества ртути в лампах, используемых в сканерах-копирах.

Другим известным устройством, содержащим ртуть, является газоразрядный экран (широко применяется также английская калька «плазменная панель») – устройство отображения информации, монитор, основанный на явлении свечения люминофора под воздействием ультрафиолетовых лучей, возникающих при электрическом разряде в ионизированном газе (иначе говоря, в плазме).

Таблица 3

Типичное содержание ртути в ЖК-дисплеях с лампами задней подсветки [3]

Диагональ ЖК-дисплея (дюймы)	Количество ламп	Содержание ртути, мг
15	2	7
17	4	14
19	4	14
20	6	21
26	13	45,5
32–37	16	56
42	18	63

Таблица 4

Содержание ртути в люминесцентных лампах жидкокристаллических мониторов персональных компьютеров, телевизоров, копировальной техники [3]

Наименование изделия	Кол-во ртути в лампе (без цоколей), мг
ЖК-телевизор Samsung, лампа типа 21CAf	23,49
ЖК-телевизор Samsung, лампа типа S39A	43,42
ЖК-телевизор Samsung, лампа типа W804D	29,05
ЖК-телевизор Samsung, лампа типа EA2h	62,14
ЖК-мониторы персональных компьютеров	15–60
Сканер-копир 062 HAV15801Y0	92,78

Плазменная панель представляет собой матрицу газонаполненных ячеек, заключенных между двумя параллельными стеклянными пластинами, внутри которых расположены прозрачные электроды, образующие шины сканирования, подсветки и адресации. Разряд в газе протекает между разрядными электродами (сканирования и подсветки) на лицевой стороне экрана и электродом адресации на задней стороне. Для создания плазмы ячейки обычно заполняются газами – неоном или ксеноном (реже используется гелий и/или аргон, или, чаще всего, их смеси) с добавлением (в старых моделях) ртути. Плазменные дисплеи в основном бывают AC-типа и DC-типа. В силу своей конструкции именно плазменные дисплеи DC-типа содержат ртуть, количество которой может составлять до 30 мг на один дисплей. Причиной введения ртути в газоразрядные ячейки плазменного дисплея является увеличение срока службы его путём предотвращения попадания материала катода на анод. Сейчас практически все выпускаемые плазменные дисплеи являются AC-типа, хотя в России по-прежнему эксплуатируются и дисплеи DC-типа, которые, таким образом, требуют особого внимания при их обезвреживании и тем более при утилизации.

В свое время для визуального представления информации в персональных компьютерах широко использовались мониторы с электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ), а в России

телевизоры с ЭЛТ ещё до сих пор можно встретить во многих домах (особенно в сельской местности). Прогнозируется, что поток данного «электронного мусора» в нашей стране иссякнет лишь к 2020–2025 гг. Установлено, что в различных компонентах таких ЭЛТ-мониторов содержится ртуть (табл. 5).

Таблица 5

Содержание ртути в мониторах компьютеров с катодно-лучевыми (электронно-лучевыми) трубками (вакуумные мониторы), мг/кг [3]

Наименование монитора	Стеклобой	Сетка мелкая стальная	Лента алюминевая	Фольга алюминевая
Goldstar M41LF0803X	0,063	0,046	0,5–1,0	–
LG M41QBF423X31(P)	0,058	0,041	–	1,1
Panasonic M36KPC030X	0,047	0,183	–	0,41

Наличие ртути во многих видах электронного оборудования определяет необходимость и обязательность раздельного сбора и последующей переработки (обезвреживания и утилизации) ОЭО на специализированных лицензированных предприятиях. К сожалению, в нашей стране степень сбора, обезвреживания и утилизации вышедшего из строя электронного оборудования (в том числе и особенно ртутьсодержащего) невелика. Так, по оценке Ассоциации переработчиков отходов электронного и электротехнического оборудования (АПЭТ), в г. Москве ежегодно образуется 130 тыс. т ОЭО. В этих отходах может содержаться, по минимальной оценке, до 1 т ртути. Из указанной массы отходов только 4 тыс. т собирается и перерабатывается, т. е. чуть более 3%. Очевидно, что указанная доля сбора и обезвреживания таких отходов типична для многих городов нашей страны и, соответственно, для России в целом. Судя по всему, большая часть образующихся ОЭО определенное время хранится (складируется) в организациях, в домохозяйствах, на дачах и т. п., поступает в ТБО и вывозится на различные свалки. Общее количество ртути, содержащейся в ежегодно образующейся в России массе ОЭО, может быть ориентировочно оценено в 9–10 т.

В любом случае при организации систем сбора и последующей переработки отходов электронного оборудования необходимо учитывать вероятность наличия в них ртути. Особенно актуально это для тех устройств, в конструкциях которых используются люминесцентные лампы задней подсветки. Такие устройства, вышедшие из строя, должны в обязательном порядке законодательно считаться ртутьсодержащими отходами, для них должен быть организован обязательный селективный сбор и последующее обезвреживание на специализированных предприятиях. Важно отметить, что транспортировка таких ОЭО до мест переработки должна проводиться таким образом, чтобы избежать повреждения ламп задней подсветки.

Опыт работ организаций, входящих в Ассоциацию предприятий по обращению с ртутьсодержащими и другими опасными отходами [4, 8], показывает, что нередко телевизоры и мониторы поступают на участок по их переработке с уже разбитыми лампами (нередко до 20% разбитых ламп в телевизорах и до 5% в мониторах). В ходе предварительной подготовки к переработке устройства, прежде всего, демонтируются, а изъятые лампы задней подсветки, как правило, обезвреживаются по той же технологии, что и обычные люминесцентные лампы [7]. Все это существенно увеличивает экологотоксикологическую и санитарно-гигиеническую безопасность оставшейся части отходов электронного оборудования, направляемых на дальнейшее обезвреживание или на утилизацию.

Литература

1. Гофман В.Р., Попов А.А. К вопросу об управлении отходами потребления электронной техники в системе экологического менеджмента в Российской Федерации // Вестник ЮУрГУ, 2010, № 11, с. 44–51.
2. Калимуллин Т.Р. Международный и российский опыт рециклинга электроники // www.unido.ru/upload/files/0/04_recikling.pdf.
3. Тимошин В.Н., Яковлев С.И., Кочуров А.В. Электронный лом – потенциальный источник ртутных загрязнений // Твердые бытовые отходы. 2009. № 7. С. 34–36.
4. Тимошин И.В., Янин Е.П. Ассоциация предприятий по обращению с ртутьсодержащими и другими опасными отходами и ее возможности в решении проблем ртутного загрязнения // Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2015, с. 341–345.
5. Утилизация жидкокристаллических и плазменных дисплеев // <http://habrahabr.ru/post/167883>.
6. Янин Е.П. Ртутные лампы: опасность для окружающей среды // Экология производства, 2010, № 2, с. 53–55.
7. Янин Е.П. Состояние и проблемы утилизации ртутных ламп в России // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2010, № 2, с. 25–84.
8. Янин Е.П. Ассоциация НП «АРСО»: решение проблем ртутного загрязнения // ЭкоПрогресс, 2013, № 10, с. 44–45.
9. Mercury-containing lamps under the spotlight. Report from the EEB Conference. Brussels, 27 June 2008. – Brussels: European Environmental Bureau, 2008. – 56 p.