

**Альперт В.А. 20-ти летний опыт производства и эксплуатации вакуумного термомеркуризационного оборудования УРЛ-2 // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7-9 сентября 2010 г.). – М.: ГЕОХИ РАН, 2010, с. 400 – 405.**

В декабре 2009 г. Венчурная Фирма «ФИД-Дубна» (ООО) отпраздновала свой 20-ти летний юбилей. Фирма была образована как хозрасчетное подразделение Дубненского городского Совета ВОИР (Всесоюзного общества изобретателей и рационализаторов), основной целью которого было эффективное решение существующих в городе технических проблем. И одной из первых оказалась поставленная приборным заводом «Тензор» проблема утилизации вышедших из строя люминесцентных ламп, накопленных на заводе в достаточно большом количестве по причине круглосуточной работы ряда подразделений завода. Задача эта оказалась не только первой, но и, показала история, основной задачей новой Фирмы. За прошедшие 20 лет Фирмой было разработано несколько вариантов технологического демеркуризационного оборудования и запущена в мелкосерийное производство малогабаритная вакуумная термомеркуризационная установка УРЛ-2.

Принцип действия установки основан на сильной зависимости давления насыщенного пара ртути от температуры. Обрабатываемые лампы разрушаются в камере установки, нагреваются до температуры быстрого испарения ртути, а пары ртути откачиваются вакуумной системой установки через низкотемпературную ловушку (НТЛ), на поверхности которой происходит конденсация атомов ртути, стекающей в сборник в виде жидкого металла после размораживания ловушки.

Результаты научных исследований (см. С. Дэшман. "Научные основы вакуумной техники". Мир, Москва 1964г., стр. 620) показывают, что вакуумная дистилляция (отгонка) паров металлов в условиях вакуума эффективно осуществляется при давлении насыщенных паров порядка 1,8 Торр (мм.рт.ст.). Для ртути такое давление насыщенных паров достигается при температуре 130°C. Скорость испарения металлической ртути при этой температуре равна 0,04 г/см<sup>2</sup> сек. Это значит, что содержащаяся в одной лампе ртуть (порядка 60 мг) испаряется при температуре 130°C за время менее 1 сек.

Это следует отчетливо понимать оператору установки, поскольку обрабатываемые лампы содержат кроме ртути большое количество органических материалов (мастика, текстолит, загрязнения), скорость выделения газа из которых за счет их термодеструкции сильно возрастает с увеличением температуры. При этом суммарный газовый поток нагружает вакуумную систему установки и повышает остаточное давление газа в демеркуризационной камере, что снижает эффективность демеркуризационного процесса.

*Практический вывод #1: В процессе демеркуризации неочищенных от органических примесей и загрязнений ртутных ламп не рекомендуется повышать температуру в демеркуризационной камере выше той, при которой ДАВЛЕНИЕ остаточных газов в камере не превышает нескольких Торр.*

Следует ясно понимать также, что указанное выше ограничение по температуре диктуется только наличием в обрабатываемых лампах органических примесей и, естественно, ограничивает возможности установки, поскольку качество демеркуризации стекла пропорционально произведению Тхт: рабочей температуры на время демеркуризации. Это объясняется тем, что основная часть ртути (97-99%) в отработавших срок лампах находится не в виде металла, а в виде атомов ртути, сорбированных люминофором а скорость процесса десорбции, примерно пропорциональна Т.

*Практический вывод #2: Процесс демеркуризации ламп для увеличения его скорости (и соответственно сокращения длительности демеркуризационного цикла) следует вести при максимальной возможной температуре, обеспечивающей работу вакуумной системы установки (по величине газового потока).*

На практике это условие можно реализовать при демеркуризации чистого стекло боя или металлических отходов: горелок ртутных ламп, термометров, игнитронов и специально очищенных от "органики" люминесцентных ламп. По мнению Разработчика процедура предварительной очистки люминесцентных ламп от мастики и текстолита может в целом дать выигрыш по производительности установки при утилизации люминесцентных ламп. Конструкция установки допускает нагрев демеркуризационной камеры до 450 град.С.

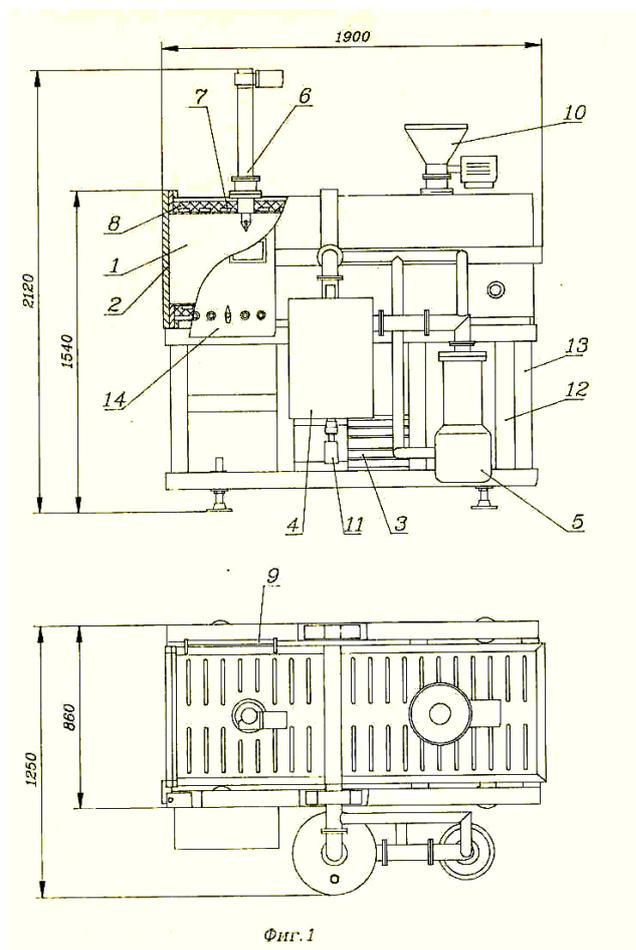
Бытующее мнение относительно необходимости нагрева стекло боя до температур порядка 750 град.С для полного удаления ртути из него из-за возможного образования неких соединений ртути в слое люминофора нельзя признать убедительным, поскольку нет никаких оснований для образования таких соединений в условиях газового разряда в процессе работы лампы, а металлическая ртуть даже в адсорбированном состоянии полностью десорбируется и удаляется в условиях высокого вакуума уже при температурах порядка 300 град.С. Экспериментально доказана возможность проникновения части

ртутных атомов из высокоэнергетической части спектра газового разряда в поверхностные (достаточно глубокие) слои стекла колбы лампы. Для десорбции этой части атомов действительно могут потребоваться повышенные температуры обработки стекло боя. Однако, представляется необязательным удаление таких ртутных атомов из стекла в процессе утилизации, поскольку атомы ртути «витрифицированы» (остеклованы) и не представляют опасности для окружающей среды, т.к. при реальных условиях хранения демеркуризованного стекло боя (на полигоне или в засыпке дорог) они не имеют практической возможности выйти наружу. По этой же причине мы считаем желательным использование для оценки качества демеркуризации (определение остаточного количества ртути в стекло бое) низкотемпературных методик определения ртути в смывах. Спектрофотометрические методы определения ртути в стекло бое, основанные на нагревании пробы до высоких температур, часто приводят к завышенным показаниям остаточного содержания ртути в стекло бое.

Эффективность улавливания ртути НТЛ сильно зависит от режима течения газового потока через НТЛ. Только при молекулярном режиме течения газа, когда длина свободного (без столкновений между собой) пробега молекул больше расстояния между стенками в НТЛ, обеспечивается 100%-ная вероятность столкновения атомов ртути с холодной поверхностью НТЛ. Эффективность НТЛ УРЛ-2м в описанном режиме близка к 1млн., т.е. каждый атом ртути при прохождении НТЛ испытывает порядка 1 млн. соударений с ее поверхностью. При рабочей температуре НТЛ (-196 град.С) достаточно одного соударения для фиксации атома ртути на поверхности НТЛ. *Заложенный в УРЛ-2м принцип улавливания ртутных паров запатентован (Патент РФ #1838440) и является отличительной особенностью установки.*

**Практический вывод #3:** для обеспечения высокой экологической эффективности процесса демеркуризации нужно вести его при вакууме порядка 0,01 Торр в районе НТЛ.

Высокая эффективность НТЛ позволяет реализовать демеркуриационный цикл при температуре поверхности НТЛ до - 60 град.С, что дает возможность использовать в качестве криоагента (источника холода) наряду с жидким азотом твердую углекислоту, получаемую при резком напуске сжиженной углекислоты из баллона (в частности, огнетушителя) в НТЛ. Однако, опыт показывает, что эффективность оборудования в этом случае значительно ниже из-за плохого контакта хладагента с металлом (лед в ловушке подтаивает и контактирует с поверхностью металла точечно).

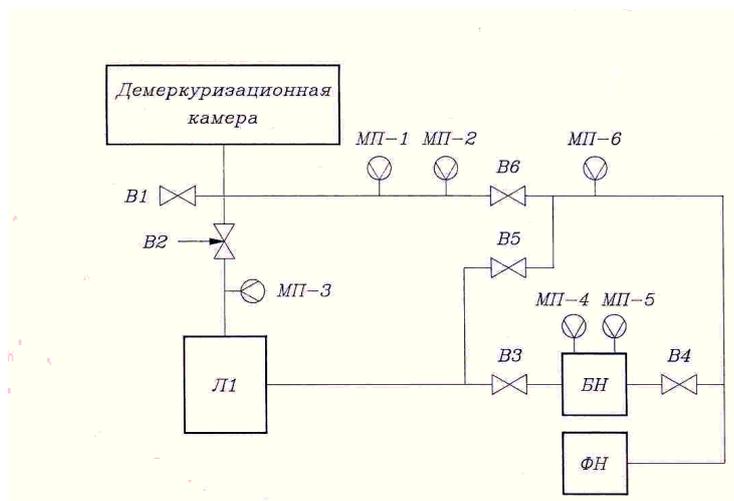


Конструктивно установка УРЛ-2м выполнена в виде демеркуриационной камеры 1 (см. Фиг.1), шарнирно закрепленной на платформе 13. Камера снабжена крышкой 2, электронагревателем 7 и теплоизолятором 8. На камере смонтировано устройство 6 для механического разрушения люминесцентных ламп. Для разрушения горелок ламп типа ДРЛ и энергосберегающих ламп используется съемная мельница 10, монтируемая на фланце камеры 1. В режиме демеркуризации люминесцентных ламп фланец закрыт заглушкой. Система вакуумной откачки камеры образована бустерным паромасляным насосом 5 и механическим форвакуумным насосом 3. Откачка камеры на высокий вакуум осуществляется через НТЛ 4 со сборником металлической ртути 11. Схема вакуумной системы установки УРЛ-2м показана на Фиг.2. Установка снабжена силовым электрическим шкафом 12 и пультом управления 14. Комплект электрических схем установки входит в комплект технической документации, поставляемой с установкой. Рукоятка 9 используется для наклона камеры при выгрузке стекло боя.

Установка УРЛ-2м предназначена для термической демеркуризации (удаления ртути из) люминесцентных ламп всех типов, а также горелок ртутных ламп высокого давления типа ДРЛ и энергосберегающих ламп (ЭСЛ). Демеркурированный стекло бой может

использоваться в засыпку при производстве строительных и дорожных работ или подлежит утилизации на полигоне твердых бытовых отходов или промышленных отходов (4-й класс опасности отходов). Сортировка, сбор и полная утилизация всех отходов переработки ламп (стекла, люминофора, алюминия, вольфрама) на данной установке не предусмотрена.

Установка может использоваться также для демеркуризации содержащих ртуть отходов промышленного производства: вышедших из строя приборов с ртутным наполнением (термометров, игнитронов, и пр.) а также загрязненных ртутью строительных материалов (штукатурки) почв и содержащих ртуть золотых шлихов и пород.



Фиг. 2.

Установка изготовлена для эксплуатации в стационарных помещениях (климатическое исполнение УХЛ, категории 4.2. по ГОСТ 15150-69). Однако жесткость конструкции установки позволяет использовать ее в передвижном (мобильном) варианте на шасси грузового автомобиля. Питание установки осуществляется от сети переменного тока с напряжением 380 (+10% - 5%) В с частотой 50Гц. Максимальная потребляемая мощность не более 15 кВт.

Для охлаждения рубашки бустерного диффузионного насоса и уплотнения механизма разрушения ламп используется

техническая вода с расходом порядка 1 л/мин. при давлении от 2-х до 6-ти атм. Вода не контактирует с внутренним объемом установки и принципиально не может загрязняться ртутью. Конструкция системы охлаждения установки позволяет при отсутствии централизованной системы технического водоснабжения применять замкнутую систему водоснабжения на базе стационарной автономной емкости (1-2 куб.м.) и водяного насоса.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ГАБАРИТЫ

Время выхода на режим	1 час
Производительность	до 200 ламп/час и 8000 горелок ДРЛ и ЭСЛ/смену (8часов)
Размеры обрабатываемых ламп	до 1600 мм.
Температура демеркуризации	до 450 град.С
Остаточное содержание ртути (не более):	
в отходящих газах	не более 0,0003 мг/м.куб.
в стеклобее	не более 2,1 мг/кг
Габаритные размеры	1900x1280x2100 мм
Вес	720 кг
Макс.потребляемая электр.мощность	не более 15 кВт

Установка имеет сертификат соответствия и санитарно-эпидемиологическое заключение, разрешающие ее эксплуатацию. Технологический цикл демеркуризации запатентован. Уровень остаточного содержания ртути в выхлопных газах по расчетам НИИ «Медицины труда», сделанным на основе экспериментальных замеров на работающей установке ниже ПДК для жилой зоны уже на расстоянии 25 м от устья выброса вентсистемы. В настоящее время заканчивается подготовка Разрешения Ростехнадзора на применение установки.

Установка комплектуется съемной мельницей для разрушения горелок ртутных ламп типа ДРЛ и ЭСЛ, комплектом ЗИП согласно ведомости ЗИП, комплектом эксплуатационно-нормативной документации согласно ведомости эксплуатационно-нормативной документации (40 листов), комплектом чертежей основных узлов установки (7 листов) и комплектом электрических схем питания установки и ее узлов (18 листов).

К основным достоинствам описанного оборудования можно отнести полный рециклинг технологического процесса утилизации отходов, т.е. отсутствие каких бы то ни было «хвостов» технологического процесса, требующих их дополнительного обезвреживания. На сегодняшний день это единственное в России оборудование, позволяющее утилизировать отходы, содержащие весомые (до нескольких кг. в случае игнитронов) количества металлической ртути.

К основным его (оборудования) недостаткам следует отнести цикличность технологического процесса демеркуризации, обусловленную необходимостью периодической перезагрузки камеры

установки обрабатываемыми лампами и связанную с этим сравнительно невысокую производительность. Необходимость перезагрузки камеры установки является основным источником залповых выбросов ртутных паров в атмосферу технологического помещения, несмотря на их допустимый уровень.

В этой связи оптимальным вариантом использования оборудования представляется его применение для утилизации ртутных приборов (термометры, контакты, игнитроны), ртутных концентраторов (ступы) и золотых шлихов и катодных осадков. В частности, к настоящему моменту установки УРЛ-2 используются в ОАО «Термоприбор» (г.Клин Московской области) для утилизации бракованных ртутных термометров, а также на Новосибирском аффинажном заводе и приисках ООО «Ильдиканзолото» (г. Приаргунск Читинской области) для демеркуризации золотых шлихов и катодных осадков. Представляет интерес вариант совместного использования термодемеркуризационного оборудования типа УРЛ-2 и установок ООО НПП «Экотром» для непрерывной утилизации ртутных ламп методом холодного отделения ртутисодержащего люминофора (ступы) от стекла с последующей утилизацией ступы на установке УРЛ-2м. Такая комбинация позволяет получить оборудование по характеристикам близкое к оборудованию Фирмы «MRT» (Швеция), но значительно более дешевое по стоимости. Следует отметить, что для практической реализации такого проекта необходимо решить ряд проблем, связанных с тонкой дисперсностью люминофорного концентрата.

За период с 1992 года, когда была выпущена первая установка для Министерства вторичных ресурсов Казахстана, по настоящее время Фирма выпустила более 170 установок УРЛ-2 и УРЛ-2м. Кроме России оборудование поставлено во все Республики Содружества, Латвию, Польшу и Южную Корею.

Выполненная за это время модернизация оборудования была направлена, главным образом, на увеличение производительности системы вакуумной откачки, позволяющей сократить длительность цикла демеркуризации при сохранении качества обработки. Установки последнего выпуска имеют производительность до 200 люминесцентных ламп в час. Установка ремонтпригодна. Первая установка, поставленная в Казахстан, проработала в Алматы более 10 лет.

Некоторые отзывы о работе оборудования можно найти в следующих ссылках: 1. Светотехника № 3, 1994, стр. 16; 2. Светотехника № 4, 1994, стр. 30; 3. Охрана труда и социальное страхование №12, 2000, стр. 16; 4. Экология производства № 5, 2004, стр. 96; 5. Экология производства № 10, 2005, стр. 82; 6. М.Н. Борзых «Проблемы загрязнения окружающей среды ртутью и переработка ртутисодержащих отходов», Труды ФГУП «Красноармейский НИИ Механизации»2008, стр. 124. Москва ИД «Оружие и технологии», 2008 г.