

Контроль безопасности ртутных люминесцентных ламп

Родион Кирсанов,
krf07@yandex.ru

Окончил Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева по специальности «Светотехника и источники света». Разработчик первых отечественных ЛЛ со световой отдачей 70, 75 и 80 лм/Вт. Изобретатель.

В ближайшие годы населению РФ, большинства стран СНГ и Евросоюза предстоит столкнуться с вполне объяснимым увеличением в целом пока бесконтрольного предложения ртутных люминесцентных ламп, так что тематика обеспечения безопасности их применения становится актуальной для многих. Поэтому, после публикации в пятом номере 2010 года журнала «Современная светотехника» статьи о контроле количества ртути в люминесцентных лампах, считаем целесообразным напомнить читателю: (1) законодательные аспекты и (2) реальные возможности стандартных методов контроля ртутного наполнения эффективных люминесцентных ламп (ЛЛ).

НОРМАТИВНАЯ БАЗА КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ

Нормативная база контроля содержания ртути в ЛЛ характеризуется, прежде всего, тем, что действующими в настоящее время на территории России санитарными правилами и нормами СанПиН [1] регламентируются предельные допустимые концентрации (ПДК_{Hg}) только свободной ртути. В том числе, в виде её паров в атмосферном воздухе населённых мест и жилых помещений (индекс — «ж») — ПДК_{Hgж} = 0,0003 мг/м³, указаны ПДК_{Hgp} = 0,005 мг/м³ — среднесуточная норма в рабочих помещениях (индекс — «р»), в которых допускается кратковременная (индекс — «к») работа при концентрации ртутных паров не более ПДК_{Hgк} = 0,01 мг/м³.

При этом в перечнях СанПиН [1] ртуть содержащие соединения не представлены — отсутствуют ПДК по широко применяемым в электроламповом производстве современных энергоэкономичных конструкций ЛЛ составам ртутных амальгам и интерметаллических соединений. То есть, строго говоря, ограничений применения связанной ртути в ЛЛ нет, но из общих положений следует, что ртуть содержащие элементы и соединения, вводимые

внутри лампы, должны соответствовать нормам [1] по концентрации паров ртути над ними в окружающих условиях жизнедеятельности человека.

Нет и единых, признанных всеми странами международных норм по содержанию массы ртути M_{Hg}, введённой в ЛЛ. Такие данные по M_{Hg} большинство фирм указывало только в технологической и в рекламной документации. Вместе с тем, федеральный закон «Технический регламент о безопасности низковольтного оборудования» [2] установил обязательность указания массы содержащейся в лампе ртути в маркировке, этикетке или в сопроводительной документации. В 2009 году разработан и утвержден [3] ГОСТ Р (МЭК 60968-2010), в разделе которого «Эксплуатационные требования» установлено техническое требование того, что количество ртути в каждой лампе любой конструкции должно быть «не более 5мг». Но срок введения в действие [2, 3] пока не установлен.

Поскольку официальные обязательные (на уровне МЭК) требования к качеству ЛЛ и, в частности — к компактным люминесцентным лампам (КЛЛ) отсутствуют, то, подобно европейской практике, на добровольной основе может выдаваться

«экоярлык» или «экологический паспорт», в котором должна содержаться информация о количестве ртути в лампе. Организационные механизмы и общие методические рекомендации выполнения работ

В люминесцентных лампах используется высокоэффективная генерация ультрафиолетового излучения в плазме ртутного разряда низкого давления

предприятиями-изготовителями ЛЛ по обеспечению их ртутной безопасности, как необходимой составляющей качества продукции, в полной мере определяются и регламентируются действующими у нас международными системами обеспечения качества — ИСО [5] и добровольной сертификации [6] продукции.

На многое повлиял запрет [4] применения ламп накаливания, в т.ч. и на незаслуженное отрицательное отношение к современным эффективным конструкциям ЛЛ. В сравнении эффективности средств освещения, думается, не следует исходить только из названия. Общеизвестно, что в ЛЛ используется высокоэффективная генерация ультрафиолетового излучения в плазме ртутного разряда низкого давления. Для этого в ЛЛ требуется оптимальная концентрация ртути всего около (6–7)10⁻⁵ мг/см³. Для получения максимальной световой отдачи в стандартных ЛЛ, например — мощностью 20 Вт, выполненных к колбе диаме-

тром 38 мм, необходима, в частности, концентрация паров ртути, примерно равная $6,2 \cdot 10^{-5}$ мг/см³, т.е. эффективно работает в такой полулитровой лампе только $3,1 \cdot 10^{-2}$ мг ртутных паров. Конечно, риск разгерметизации — разбить лампу — существует. Он повышен при перемещении лампы, при установке и замене ламп в светильниках, но особенно опасен в освещаемых местах постоянного нахождения людей. Поэтому к атмосфере воздуха населённых мест предъявляются самые жёсткие предельно допустимые нормы — $0,0003$ мг/м³. В свете действующей нормативной базы [1–3] безопасность ртутных люминесцентных ламп обеспечивается и означает, что в любых ситуациях их использования, давление паров над ртутью,

Разработанный способ контроля базируется на тестовом процессе, основной характеристикой которого является зависимость напряжения горения лампы в режиме тлеющего разряда

которая может выйти в окружающую среду из лампы при её разгерметизации, не должно [1] превышать ПДК_{нгж} = $0,0003$ мг/м³. Именно такая лампа — всегда обеспечивающая выполнение норм [1], и является безопасной, в частности — по ртути, содержащейся в ней.

МЕТОД КОНТРОЛЯ РТУТНОГО НАПОЛНЕНИЯ ЛАМП

На территории Российской Федерации рекомендован, согласно [3], отечественный способ [7] *неразрушающего контроля массы ртути в ЛЛ*, основные принципы и схема измерений которого изложены в [7–9], в том числе — сравнительно подробно, раздельно и критически в [8–9]. Разработанный нами способ [7] контроля базируется на тестовом

процессе, основной характеристикой которого является зависимость напряжения горения U контролируемой лампы в режиме тлеющего разряда. При неизменном токе в условиях повышения температуры T среды, окружающей лампу с внутренним объёмом V , измеряется кривая напряжения на лампе $U(T)$. Температура колбы, соответствующая точке перегиба (бифуркации) кривой $U(T)$, есть температура $T_{ис}$ полного испарения всей ртути массы M , находящейся в объёме лампы. При температуре $T \geq T_{ис}$ вся ртуть находится в парообразном состоянии.

Когда вся ртуть находится в парообразном состоянии, из уравнения состояния:

$$PV = \frac{M}{\mu}RT, \quad (1)$$

где V — внутренний объём лампы, μ — молекулярный вес ртути, R — универсальная газовая постоянная, определяется искомая масса ртути M .

Полезным в оперативной практике контроля может стать обобщенный расчетный материал по справочным данным [10–13], представленный в таблице 1. Данные этой таблицы для давления насыщенных ртутных паров P в зависимости от T совпадают с хорошей точностью с величинами, полученными по расчетной формуле [10]:

$$\lg P = \frac{11,5029 - 3387,65}{T - 1,1596 \lg T}, \quad (2)$$

где P — давление ртутного пара, мм.рт.ст., T — температура пара, К.

Поскольку в люминесцентных лампах содержится, как правило, от нескольких до 10–20 миллиграмм ртути, а их объём порядка 10^2 – 10^3 см³, в таблице 2 приведены для примера расчетные величины массы ртути в колбе лампы с объёмом 10^3 см³ для различных температур $T_{ис}$.

Например, если в стандартной¹ 40-Вт испытуемой лампе с объёмом ~ 1,3 литра величина $T_{ис}$ оказалась равной 140 °C, то масса свободной ртути в ней примерно равна 18,7 мг.

Относительная погрешность $\delta = (\Delta M/M)$ расчёта M определя-

Таблица 1. Давление насыщенного ртутного пара

T, [K]	T, [°C]	P, [мм.рт.ст.] Обоб. данные
353,2	80	0,0885
363,2	90	0,159
373,2	100	0,276
391,7	118,5	0,73556
399,4	126,2	1,0
401,6	128,4	1,1769
407,8	134,6	1,47112
417,3	144,1	2,20668
423,2	150	2,802
427,3	154,1	2,94224
434,7	161,5	3,67780
442,1	168,9	5,88448
448,2	175,0	7,3556
457,2	184,0	10,0
459,8	186,6	11,0334
462,1	195,0	14,7112
473,2	200	17,81

Таблица 2. Расчетные величины массы ртути в колбе лампы с объёмом 10^3 см³

Tис, °C	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
M, мг	0,84	1,5	2,5	4,0	6,3	9,8	15	22	32	46	64	89	122

¹ Длина трубки 120 см, внутренний диаметр 3,65 см.

ется реально достижимой точностью — ошибкой ΔT оценки температуры полного испарения ртути и определения внутреннего объёма ΔV лампы [7, 8]. По данным [8] максимальное значение относительной ошибки ΔM составляет 13–15% при ошибке определения T в пределах $\Delta T = \pm 3K$, когда ΔV составляет не более 3% от V . Обобщение результатов многократных оценок содержания ртути в образцах ЛЛ с заранее заданным (для градуировки) содержанием ртути показало, что относительная ошибка наших измерений не превышала 3,7%, что для практики более чем хорошо. Разработка процедур контроля содержания ртути в изготовленных лампах, анализ состояния производства, оптимизация алгоритма контроля, правил приемки и регламента коррекции технологических режимов изготовления ЛЛ проводилась, руководствуясь аппаратом [14].

Таким образом, то, что уже изобретено и многие годы использовалось в отечественной практике производства и разработки источников света, вполне может служить надёжным средством контроля и отбраковки на рынках сбыта люминесцентных ламп — товара широкого народного потребления и практически повсеместного использования — не соответствующих нормам содержания ртути. Однако, для того, чтобы иметь стандартные средства государственных служб контроля, например — таможни и Роспотребнадзора, требуется под давно разработанную оптимальную методику контроля необходимое тиражирование установок.

Конечно, эффективные методы контроля содержания ртути найдут своё должное место и в технологическом контроле производства современных и стандартных ЛЛ, как минимум — для оперативной коррекции технологических режимов изготовления ЛЛ. Это реальная «ниша потребления» уже существующих разработок. Практика и результативность разработки ламп зависят от используемых исхо-

дных ламповых материалов, от технологических режимов изготовления ламп, используемые вариации сочетаний которых, как известно, широки. В этом нельзя не отметить возможности разработанного нами способа определения ЛЛ с малым ($<10\text{мг}$) содержанием ртути. Он позволяет оперативно проводить мониторинг скорости и количества выделяемой ртути из разного вида ртутных дозаторов ЛЛ, интенсивности поглощения ртутных паров внутри ламп — по всему сроку службы — без нарушений заданного для неё режима работы. Отметим, что им

пользовались и для анализа продукции массового производства ЛЛ.

Имеются и другие новые патентоспособные технические решения.

В частности, на лампах технологического назначения проверены основные принципы конструирования безопасных по ртути ЛЛ. К настоящему моменту разработаны заявочные материалы и рабочие инструкции:

- по средствам непрерывного контроля ЛЛ в процессе их изготовления,

- по алгоритму автоматизированного контроля ЛЛ на содержание ртути,

- по организации и оснащению контроля содержания ртути в ЛЛ.

Таким образом:

- контроль, отсекающий продажу потенциально опасных, по содержанию ртути, люминесцентных ламп для населения России необходим и реально возможен;

- установленные в России нормы и правила, общие принципы методологии контроля и сертификации для обеспечения безопасности продукции вполне достаточны, что, разумеется, не исключает необходимости их уточнения и совершенствования. Уто, главное — надо ввести их действие.

ЛИТЕРАТУРА

1. СанПиН 2.3.2. 1078-01. Санитарно-эпидемиологические правила и норма-

тивы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2. 1078-01. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Дополнение №2 к СанПиН 2.3.2. 1078-01 ГН 2.1.6. 10338-03. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест ГН 2.1.5. 10313-03. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны.

2. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности низковольтного оборудования» № 347-ФЗ от 27 декабря 2009.

3. ГОСТ Р(МЭК 60968-2010) «Лампы со встроенными пускорегулирующими аппаратами для общего освещения. Требования безопасности».

4. Федеральный закон РФ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» №261-ФЗ от 23 ноября 2009.

5. ГОСТ Р ИСО 9001-2008 Системы менеджмента качества. Требования.

6. Ширчков, В.Н. Сертификация электро-технической продукции: Монография / В.Н. Ширчков, А.И. Терешкин, Т.А. Рожкова, Н.В. Ширчков. — Саранск.: СВМО, 2006. — 124с.

7. Кирсанов, Р.Ф. Способ неразрушающего контроля массы ртути в люминесцентных лампах / Р.Ф.Кирсанов, В.С.Николаев, М.А.Мальков, Л.И. Ефремова, В.Н. Ширчков, С.Ю.Сажин, А.А.Прытков // А.С. СССР № 1661865 А1. — Оpubл. 17.07.91, Бюлл. №25.

8. Ширчков, Н.В. Методы испытаний, контроля параметров для сертификации светотехнических изделий: Дисс. канд. техн. наук / Н.В. Ширчков. — Саранск.: Мордовский государственный университет, 2008. — 152с.

9. Федоренко, А.С. Создание метода и средства контроля количества ртути в люминесцентных лампах / А. Горбунов, А.С. Федоренко, А.А. Ашратов // Современная светотехника. — 2010. — № 5 (6). — с.75—77.

10. Капцов Н.А. Электрические явления в газах и вакууме. М.-Л.: ОГИЗ Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1947, 808с. (стр.702).

11. Гавзе М.Н. Взаимодействие ртути с металлами и сплавами / М.Н. Гавзе. — М.: Изд-во «Наука», 1966. — 160с.

12. Кэй, Дж. Таблицы физических и химических постоянных / Дж. Кэй и Т. Лэби. — М.: Физматгиз, 1962. — 248с.

13. Дэшман, С. Научные основы вакуумной техники / С. Дэшман. — М.: ИЛ, 1950.

14. Левин, С.И. Статистические методы контроля и анализа качества источников света / С.И. Левин. — М.: Изд-во стандартов, 1968. — 167 с.