

УДК: 628.16.065.2(045)

ОЦІНЮВАННЯ НЕБЕЗПЕКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ПРИМІЩЕНЬ У РАЗІ РУЙНУВАННЯ РТУТНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Т. І. Дмитруха, канд. техн. наук, доц.

Національний авіаційний університет

E-mail: Dmitrucha79@mail.ru

Здійснено оцінювання існуючого стану атмосферного повітря приміщень у разі руйнування ртутних джерел світла. Визначено найбільш впливові чинники та проаналізовано їх вплив на стан повітря забруднених приміщень.

Ключові слова: ртутні джерела світла, ртуть, небезпека, демеркуризація.

There is given an estimation of indoor air state in the situation when mercuric sources of light have been destroyed/ The most influential polluting factors and their impact on indoor air state is analyzed.

Keywords: mercuric sources of light, mercury, danger, demercurization.

Вступ

З вирішенням проблем екологічної безпеки в Україні нерозривно пов'язані питання оцінювання небезпеки забруднення повітря приміщень у разі руйнування ртутних джерел світла. Одним із напрямів вирішення проблеми ртутного забруднення приміщень є оцінювання рівнів ртутної небезпеки джерел світла зі вмістом ртуті та дослідження процесу зміни концентрації ртуті у повітрі приміщень у разі руйнування в них розрядних джерел світла.

Постановка проблеми

Стратегія енергозбереження в Україні на період до 2030 р. передбачає заощадливе та збалансоване використання енергетичних ресурсів. На сьогодні це неможливо без впровадження заощадливих технологій та використання у виробництві та побуті освітлювальних приладів з високими енергоощадними характеристиками: люмінесцентних та світлодіодних ламп. Ртутні лампи використовуються для освітлення вулиць, житлових, громадських та промислових приміщень, місцевого освітлення, в медичних і оздоровчих цілях, у прожекторних установках, світлокопіювальних апаратах, на сільськогосподарських об'єктах тощо.

У табл. 1 наведено дані щодо маси ртуті в основних типах ламп вітчизняного виробництва. У табл. 2 систематизовані дані щодо маси ртуті в лампах таких найбільших світлотехнічних компаній, як: *Philips, Osram (Siemens)* і *General Electric Lighting*, які виробляють понад 65 % усіх ламп, що випускаються у світі.

Всесвітня організація охорони здоров'я відносить ртуть до найпоширеніших і небезпечних токсикантів для довкілля. Небезпеку ртуті та її парів посилює висока швидкість випаровування. Реальна концентрація парів ртуті в приміщенні за рахунок вентиляції завжди нижче

рівноважної і залежить від площі випаровування, швидкості руху повітря над поверхнею ртуті, стану її поверхні, температури повітря та інших факторів [1].

Таблиця 1

Склад ртуті в різних типах вітчизняних ламп

Тип ламп	Кількість ртуті в лампі, мг
Люмінесцентні (трубчасті)	40–65 (середнє 52)
Люмінесцентні компактні	2,5
Високого тиску (типу ДРЛ)	75–350
Високого тиску (типу ДРТ)	50–600
Металевогалогенні	40–60
Натрієві високого тиску	30–50

Таблиця 2

Склад ртуті в лампах закордонного виробництва

Тип ламп	Кількість ртуті в лампі, мг
Люмінесцентні (трубчасті)	10
Люмінесцентні компактні	5
Високого тиску	30
Металевогалогенні	25
Натрієві високого тиску	30

Аналіз досліджень і публікацій

Постійна наявність і високий склад ртуті у містах і в різних видах відходів дуже часто пов'язані з використанням ртутних ламп.

Лампи, які мають у своєму складі ртуть, створюють суттєву небезпеку ртутного забруднення не тільки для довкілля, а й для житлових помешкань, дитячих закладів, приміщень масового відпочинку людей тощо. Оскільки при руйнуванні ртутної лампи, яка має у своєму складі 80 мг металевої ртуті, утворюється біля 11 000 кульок ртуті діаметром 0,01 см, то цієї кількості ртуті, за умови її повного випаровування, достатньо для того, щоб забруднити

помешкання до рівня ГДК об'ємом 300 000 м³. Так, швидкість випаровування металевої ртуті за температури повітря 20° С становить 0,002 мг з 1 см² на годину, а за температури 35–40 °С на сонячному світлі збільшується у 15–18 разів і може досягати 0,036 мг/см² на годину [2]. Кількість виготовлених джерел світла, що містять ртуть, вже є дуже значною і постійно збільшується (світлове виробництво трубчастих люмінесцентних ламп наближається до 1,5 млрд шт. на рік). Щорічний обсяг продажів компактних люмінесцентних ламп в Україні за оцінками деяких експертів обчислюється десятками мільйонів штук (близько 50 млн шт.) і ця тенденція має ознаки зростання. Загальна ж річна кількість відпрацьованих люмінесцентних ламп становить 26 млн шт.

Приблизно 100 млн ламп щорічно псуються і більша частина з них викидається у сміттєвий бак та вивозиться на смітник. Отже, у навколишнє середовище щорічно потрапляє біля 10 т ртуті.

Часто і для організацій, які використовують ртутні лампи, є справжнім відкриттям те, що ці лампи потрібно здавати у спеціалізовані заклади, які займаються їх утилізацією. Зокрема, трапляється, що різноманітні підприємства та організації роками викидають відпрацьовані лампи на смітник, або, що є взагалі неприпустимим, складують їх у підсобних приміщеннях.

Навіть на територіях промислових підприємств, які мають спеціально відведені місця для зберігання ртутних ламп, що підлягають подальшій утилізації (відкриті майданчики, контейнери і окремі ємності), не забезпечується належне зберігання цих ламп. Під впливом атмосферних опадів, зміни температури та довготривалого зберігання ламп картонна тара для них руйнується, що нерідко призводить до руйнування самих ламп та виділення з них ртуті у приміщення, атмосферу та ґрунти. Переробка ж відпрацьованих ртутних ламп на спеціалізованих підприємствах в більшості випадків зводиться до накопичення (в тому числі і понадлімітному), або до захоронення. Не піддаються подальшій переробці і невідомо куди відправляються відходи, які отримані після переробки ламп, хоча пункт 9.1 Правил охорони праці у виробництві джерел світла та світлотехнічного обладнання, які затверджено наказом Держгірпромнагляду від 18.12.2007 р. №316 та зареєстровано у Мін'юсті України 28.01.2008 за № 67/14758, передбачає, що переробка і очищення забруднених ртуттю відходів і браку ламп повинні виконуватися в окремому приміщенні, яке відповідає вимогам чинних санітарно-

гігієнічних нормативів під час роботи зі ртуттю. Дуже часто практикується захоронення склобою на полігонах, хоча саме склобий у більшості випадків потребує більш глибокої демеркуризації.

Оскільки, як відомо, ртуть навіть у звичайних умовах має підвищений тиск насичених парів і випаровується з високою швидкістю, яка збільшується зі збільшенням температури [3], то в разі порушення цілісності приладів з ртутним наповненням формується небезпечна ртутна атмосфера. В результаті випаровування ртуть зі зруйнованих ламп легко поширюється на великі відстані, забруднюючи їх до недопустимих рівнів.

Ртуть вельми агресивна відносно до різних конструкційних матеріалів, оскільки при взаємодії з металами, на які ртуть потрапляє, утворюються амальгами, що призводить до корозії і руйнування виробничих об'єктів і транспортних засобів.

Розв'язання задачі

Для визначення закономірностей зміни в часі τ концентрації пари ртуті c у повітрі не провітрюваних (замкнених) забруднених ртуттю приміщень складено баланс кількостей ртуті, яка випаровується в приміщенні, збільшується в його повітрі і конденсується у ньому за нескінченно малий час $d\tau$ [4]. Цей баланс перерахованих кількостей ртуті можна подати у такому вигляді:

$$W_{\text{вдт}} S_{\text{вдт}} d\tau = V_{\text{вд}} dc + \alpha V_{\text{вд}} c d\tau,$$

де $W_{\text{вдт}} S_{\text{вдт}} d\tau = G_{\text{вдт}}$ — кількість ртуті, випареної у приміщення за час $d\tau$; $V_{\text{вд}} dc = G_{\text{втд}}$ — частка ртуті, випареної за час $d\tau$, яка залишилася у повітрі цього приміщення і призвела до зміни її концентрації у ньому на значення dc ; $\alpha V_{\text{вд}} c d\tau = G_{\text{вд}}$ — частка ртуті, сконденсованої у цьому приміщенні за час $d\tau$, яка є тим більшою, чим більшим є об'єм приміщення $V_{\text{вд}}$ і вищою є концентрація пари ртуті у його повітрі c , а α — коефіцієнт пропорційності; $W_{\text{вдт}}$ — швидкість випаровування ртуті при її температурі $t_{\text{рт}}$, а $S_{\text{вдт}}$ — вільна площа випаровування ртуті; $V_{\text{пр}} V_{\text{вд}} = S_{\text{пр}} h_{\text{вд}}$, де $S_{\text{пр}}$ — площа приміщення і $h_{\text{пр}}$ — його висота.

Поширення пари ртуті у всьому просторі приміщення значною мірою визначає ефективна дія дифузії молекул ртуті, інтенсивність якої у певному напрямку x $z = -D \frac{dc}{dx}$, де z — густина

дифузійного потоку молекул, а D — коефіцієнт дифузії. При цьому значення коефіцієнта дифузії для пари ртуті у повітрі (за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску повітря 760 мм рт. ст. воно дорівнює $D_0 = 0,1124\text{ м}^2/\text{с}$) навіть дещо перебільшує значення для пари етилового спирту ($D_0 = 0,102\text{ м}^2/\text{с}$) і лише приблизно удвічі є меншим, ніж для пари води ($D_0 = 0,22\text{ м}^2/\text{с}$). Для визначення значень коефіцієнта дифузії D при різних значеннях температури отримана така формула:

$$D = D_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^m \frac{760}{p},$$

де D_0 — значення коефіцієнта дифузії молекул (частинок) D за температури $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто при $T_0 = t_0 + 273 = 273\text{ К}$ і тиску $p = 760\text{ мм рт. ст.}$; $m = 1,75 - 2$.

Ще швидше розповсюдження пари ртуті у просторі виробничих приміщень відбувається разом з повітрям у результаті конвекційного руху останнього, зумовленого опалюванням приміщень і сонячною радіацією. Спричинений цей рух підніманням теплішого повітря вгору, а холоднішого — опусканням вниз.

Прискорюється рух повітря у приміщеннях під час протягів, відкривань і закривань дверей та іншої примусової дії на повітря. До того ж за реальних значень концентрації насиченої пари ртуті у повітрі забруднених нею приміщень це повітря стає важчим приблизно всього на $0,001\%$, хоча пара ртуті є майже у сім разів важчою за повітря. Тому забруднене парою ртуті повітря не накопичується в нижніх зонах простору приміщень, а порівняно швидко поширюється також і у верхні його зони. На жаль, провітрювання забруднених парою ртуті виробничих приміщень призводять до небажаних забруднень навколишнього середовища і сусідніх приміщень. При цьому кількість видаленого із повітрям забруднення під час одноразового повного провітрювання приміщення об'ємом $V_{\text{пр}}$ становить:

$$G_{\text{аеа}} = V_{\text{пр}} C_y.$$

Отже, з санітарної точки зору провітрювання забруднених ртуттю приміщень з метою їх охолодження і зменшення в них концентрації пари ртуті у повітрі повинно вважатися недопустимим через утворення нових (вторинних) осередків ртутних забруднень. Більше того, забруднене ртуттю приміщення для попередження розповсюдження забруднення потрібно, навпаки, якомога ретельніше загерметизувати і одразу виконати у ньому ефективні запобіжні і демеркуризаційні заходи.

Відомо, що у замкненому просторі за наявності рідкої фази ртуті, тобто коли в даний

час вона не вся перейшла у стан пари, через певний проміжок часу в результаті випаровування ртуті і одночасно конденсації її пари, як і в разі випаровування інших речовин, встановлюється тиск насиченої пари ртуті. Цей тиск, зокрема, визначається значенням найхолоднішої ділянки даного простору t_x , що є результатом переконаденсації пари, тобто поступової перегонки джерела пари з усіх більше нагрітих ділянок на найхолоднішу ділянку дією молекулярної дифузії, зумовленою вищою концентрацією пари у просторі за вищої температури. Тиск насиченої пари речовини встановлюється у замкненому просторі тоді, коли кількість її молекул, що випаровуються, стає такою, як і кількість молекул, що конденсуються. Відповідно концентрація речовини у просторі з таким рівноважним станом залишається незмінною, хоча процес випаровування речовини продовжується. Практично замкненим простором можна вважати і порівняно герметичне не провітрюване приміщення, тобто доки приміщення не провітрюється його практично можна вважати замкненим простором. Під час проведення розрахунків важливо також враховувати те, що інтенсивність накопичення ртуті у повітрі значно зменшується у разі забруднювання і окиснювання її поверхні та в разі накривання забруднених нею ділянок різними покриттями. Зменшується вона і за наявності крупніших кульок ртуті та через потрапляння дрібних кульок у різні щілини, поглиблення тощо, оскільки все це призводить до зменшення вільної поверхні випаровування ртуті. Збільшується вона у разі можливого потрапляння краплинок ртуті на різні прилади, що знаходяться в робочій зоні виробничого приміщення і під час роботи суттєво нагріваються.

Повернення ртутних забруднень, які були поглинуті підлогою, штукатуркою та іншими елементами приміщень, у повітря приміщень відбувається за законом дифузії і вони у разі порівняно невисокої їх температури можуть підтримувати стійке небезпечне забруднення внутрішнього простору протягом багатьох років.

Зміну концентрації пари ртуті в повітрі приміщень різної площі в разі руйнування в них компактної ртутної лампи ($2,5\text{ мг ртуті}$) та люмінесцентної (50 мг ртуті) наведено в табл. 3 та 4. Оцінити безпеку повітря приміщень, що містить пари ртуті у їхньому просторі, можна співвідношенням виявленої концентрації $c/c_{\text{гдк}}$.

Результати розрахунків наведено в табл. 5, 6. Отримані результати свідчать, що в разі руйнування у приміщеннях різної площі, як компактної, так і люмінесцентної ртутної лампи, навіть через годину перебування людей у приміщенні буде небезпечним.

Таблиця 3

Динаміка зростання концентрації пари ртуті у просторі не провітрюваних приміщень різного об'єму протягом місяця після руйнування в них люмінесцентної лампи з виливом 2,5 мг ртуті, якщо $t_{рт} = 20^\circ\text{C}$ і $t_x = 10^\circ\text{C}$

$S_{пр}$	$W_{вип}$ мг/ м ² ·ГОД	$S_{вип}$ м ²	Час						
			1 година	10 годин	1 доба	1 тиждень	2 тижні	3 тижні	1 місяць
10	20	$2,21 \cdot 10^{-4}$	0,000009	0,000088	0,0021	0,0015	0,00295	0,0056	0,0065
15			0,000006	0,000059	0,00014	0,00099	0,00198	0,00396	0,00424
20			0,000005	0,000044	0,00010	0,000745	0,00148	0,00295	0,00318
25			0,000004	0,000035	0,000085	0,000595	0,00119	0,002375	0,0025

Таблиця 4

Динаміка зростання концентрації пари ртуті у просторі не провітрюваних приміщень різного об'єму протягом місяця після руйнування в них люмінесцентної лампи з виливом 50 мг ртуті, якщо $t_{рт} = 20^\circ\text{C}$ і $t_x = 10^\circ\text{C}$

$S_{пр}$	$W_{вип}$ мг/ м ² ·ГОД	$S_{вип}$ м ²	Час						
			1 година	10 годин	1 доба	1 тиждень	2 тижні	3 тижні	1 місяць
10	20	$2,21 \cdot 10^{-4}$	0,00018	0,00177	0,042	0,03	0,059	0,112	0,13
15			0,00012	0,00118	0,0028	0,0198	0,0396	0,0792	0,0848
20			0,00009	0,00088	0,00212	0,0149	0,0297	0,0594	0,0636
25			0,00007	0,0007	0,0017	0,0119	0,0238	0,0475	0,0509

Висновок

Отримані результати свідчать, що в разі продовження перебування персоналу у приміщенні після руйнування в ньому лампи зі вмістом ртуті, для попередження нанесення

істотної шкоди їх здоров'ю, потрібно провести спеціальні демеркуризаційні заходи.

Таблиця 5

Відношення $c/c_{гдк}$ в разі руйнування компактної ртутної лампи

$S_{пр}$	1 година	10 годин	1 доба	1 тиждень	2 тижні	3 тижні	1 місяць
10	0,03	0,29	0,7	5	9,8	18,6	21,66
15	0,02	0,197	0,46	3,3	6,6	13,2	14,13
20	0,166	0,147	0,35	2,48	4,95	9,83	10,6
25	0,013	0,116	0,28	1,98	3,97	7,92	8,3

Таблиця 6

Відношення $c/c_{гдк}$ в разі руйнування люмінесцентної ртутної лампи

$S_{пр}$	1 година	10 годин	1 доба	1 тиждень	2 тижні	3 тижні	1 місяць
10	0,59	5,9	14,1	100	198	396	424
15	0,39	3,9	9,43	66	132	264	283
20	0,29	2,95	7,1	49,5	99	198	212
25	0,24	2,4	5,7	39,6	79	158	170

ЛІТЕРАТУРА

1. Гигиенические критерии состояния окружающей среды // Ртуть: экологические аспекты применения. — 1992. — Вып. 6. — 130 с.
2. Гигиенические аспекты загрязнения окружающей среды ртутью / К. А. Буштуева, Л. Е. Беспалько, А. А. Гасилина [и др.] // Металлы. Гигиенические аспекты оценки и оздоровления окружающей среды. — 1993. — С. 109–118.
3. Ртуть. Комплексная система безопасности: сб. материалов науч.-техн. конференции. — СПб., 1996. — С. 45–48.
4. Dmirucha. Accumulative safety period of premises in the case of their pollution with toxic mercury vapors. Proceedings of the National aviation university. — 2013. — № 4. — P. 107–111.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2014