

УДК 628.16.065.2(045)

**Т.І. ДМИТРУХА, С.М. МАДЖД, М.М. РАДОМСЬКА,
Є.О. БОВСУНОВСЬКИЙ**

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ БЕЗПЕЧНОГО ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ НА ОБ'ЄКТАХ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ У РАЗІ ЇХ ЗАБРУДНЕННЯ ПАРОЮ РТУТІ

***Анотація.** У статті представлено новий екологічний параметр, що дозволяє визначати термін безпечного перебування людей на об'єктах різного призначення у разі їх забруднення паром ртуті.*

***Ключові слова:** пара ртуті, ртутне забруднення, ГДК.*

Вступ

За сучасною класифікацією шкідливих речовин і сполук з 2001 року ртуть відноситься до 1 класу небезпеки (надзвичайно небезпечні речовини). Завдяки високій рухливості та великому поверхневому натягу металева ртуть при розливі розбивається на маленькі краплини і, розсіюючись по різних поверхнях, досить легко проникає в тріщини та нерівності будівлі, збільшуючи таким чином площу забруднення [1, 2]. Пара ртуті також добре адсорбується штукатуркою, килимами, тканинами (особливо з вовни), хутряними виробами, взуттям та волоссям. Випаровуючись вже при температурі 18°C, ртуть отрує в приміщенні повітря, яким ми дихаємо.

В організм людини ртуть може потрапити через шкіру, шлунково-кишковий (травний) тракт або у вигляді пари (що найбільш небезпечно). Пари ртуті не мають ні кольору, ні запаху, і органи чуття людини не в змозі зафіксувати їх наявність у приміщенні.

Потрапивши в організм людини, вони створюють не тільки місцеву подразнюючу дію, а й, що особливо важливо, викликають глибоке внутрішнє отруєння організму: вражають серцево-судинну систему, нирки, пригнічують роботу центральної нервової системи. Найбільша вірогідність потраплення ртуті в організм – при вдиханні її дуже токсичної пари (при її вдиханні всмоктується понад 75% ртуті). Якщо тривалий час вдихати випари навіть незначної кількості ртуті, то розвивається захворювання хронічної форми. Таке отруєння довгий час протікає без будь-яких чітких симптомів.

Гранично допустима концентрація (ГДК) ртуті у повітрі приміщень населених пунктів є надзвичайно малою і складає лише 0,0003 мг/м³, а у повітрі різних промислових об'єктів – всього 0,005–0,01 мг/м³.

Концентрація ртуті в приміщенні залежить від:

- 1) поверхні випаровування;
- 2) температури приміщення;
- 3) вентиляції.

До найбільш істотних забруднювачів довкілля ртуттю і ртутними матеріалами належать розгерметизовані ртутні розрядні джерела світла і особливо люмінесцентні лампи, які повсюдно застосовуються для освітлення різних житлових та виробничих приміщень. Виробництво цих ламп у світі вже

перевищує 1,5 млрд штук на рік [3] і продовжує зростати, що, у свою чергу, призводить до подальшого зростання ртутної небезпеки довкілля для людей.

В даний час в країні експлуатуються не менше 140 млн світильників з ртутними лампами низького тиску (переважно з люмінесцентними трубчастими) і близько 13 млн світильників з ртутними лампами високого тиску. Загальна кількість ламп зі вмістом ртуті, які на даний час знаходяться на території підприємств України, досягає 1,7 млн штук [4]. Навіть у разі найменшого вмісту ртуті в них, який, зокрема, у компактній люмінесцентній лампі складає всього 2,5 ... 5 мг, після руйнування однієї з цих ламп у приміщенні концентрація пари ртуті у його повітрі може перебільшувати ГДК у 30...50 разів. У найбільш розповсюджених лінійних люмінесцентних лампах кількість ртуті є значно більшою і досягає 60...120 мг і більше.

Проте поверхня випаровування вилитої з розрядних ламп ртуті є настільки малою, що для досягнення ГДК її пари у приміщенні у разі руйнування у ньому таких ламп потрібен достатньо великий час. І це є дуже важливим для попередження можливого недопустимого ртутного отруєння людей, які продовжують перебувати у цьому приміщенні ще певний час.

Популярність таких ламп визначається високим коефіцієнтом корисної дії та тривалішим терміном їх експлуатації, що виправдовує їх застосування з економічної та екологічної точок зору. Виходячи з цього, Європейський союз має намір поступово відмовитися від використання ламп розжарювання.

Постановка проблеми

Метою і завданням даної роботи є подальші дослідження динаміки ртутних забруднень у довкіллі і попередження отруєння ними людей.

Розв'язання поставленого завдання

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

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

де $W_{\text{вип}} S_{\text{вип}} d\tau = G_{\text{вип}}$ – кількість ртуті, випареної у приміщення за час $d\tau$;

$V_{\text{пр}} dc = G_{\text{пов}}$ – частка ртуті, випареної за час $d\tau$, яка залишилася у повітрі цього приміщення і призвела до зміни її концентрації у ньому на значення dc ;

$\alpha V_{\text{пр}} c d\tau = G_{\text{к}}$ – частка ртуті, сконденсованої у цьому приміщенні за час $d\tau$, яка є тим більшою, чим більшим є об'єм приміщення $V_{\text{пр}}$ і вищою є концентрація пари ртуті у його повітрі c , а α – коефіцієнт пропорційності;

$W_{\text{вип}}$ – швидкість випаровування ртуті при її температурі $t_{\text{рт}}$, а $S_{\text{вип}}$ – вільна

площа випаровування ртуті; $V_{пр} = S_{пр} h_{пр}$, де $S_{пр}$ – площа приміщення і $h_{пр}$ – його висота.

Отже,

$$\frac{W_{вип} S_{вип}}{V_{пр}} = \frac{dc}{d\tau} + \alpha c.$$

В усталеному (рівноважному) стані, коли $\frac{dc}{d\tau} = 0$, $c = c_y$, де c_y – усталене значення концентрації насиченої пари ртуті в приміщенні, яке, як відомо з молекулярної теорії, відповідає температурі найхолоднішої ділянки приміщення, тобто кінцевому стану пари, коли вона у замкненому просторі стає насиченою. Відповідно

$$\frac{W_{вип} S_{вип}}{V_{пр}} = \alpha c_y \text{ і } \alpha = \frac{W_{вип} S_{вип}}{V_{пр} c_y}.$$

У результаті отримане вище диференціальне рівняння набуває такого вигляду:

$$\frac{W_{вип} S_{вип}}{V_{пр}} = \frac{dc}{d\tau} + \frac{W_{вип} S_{вип}}{V_{пр} c_y} c \text{ або } \frac{dc}{d\tau} + \frac{1}{T_{ек}} c = \frac{c_y}{T_{ек}}$$

де $T_{ек} = \frac{V_{пр} c_y}{W_{вип} S_{вип}}.$

Величину $T_{ек} = \frac{V_{пр} c_y}{W_{вип} S_{вип}}$ можна розглядати як параметр, який харак-

теризує хід і інтенсивність процесу зміни концентрації пари ртуті у повітрі приміщень протягом часу. Він має розмірність часу. За аналогією з іншими фізичними перехідними процесами ця величина також може розглядатися як постійна (стала) часу і за змістом її відповідно можна назвати постійною часу ртутної безпеки.

Отже,

$$c = c_y - c_y e^{-\frac{\tau}{T_{ек}}} = c_y \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_{ек}}} \right).$$

Коли у початковий момент $c = c_n \neq 0$, $c_n = c_y + A$ і $A = c_n - c_y = -(c_y - c_n)$

Отже, у цьому випадку $c = c_y - (c_y - c_n) e^{-\frac{\tau}{T_{ек}}}$.

Це співвідношення дозволяє визначати динаміку концентрації пари забруднення у просторі виробничих та інших приміщень, у тому числі у разі руйнування в них розрядних джерел світла зі вмістом ртуті [7].

Проте більш інформативним для оцінки ртутної чи іншої безпеки приміщень є визначений нижче інший параметр, який також залежить і від параметру $T_{ек}$. Для його визначення треба прийняти, що $c = c_{гдк}$, де $c_{гдк}$ – гранично допустима концентрація ртутної пари у даному приміщенні. Тоді:

$$c_{гдк} = c_y - (c_y - c_n) e^{-\frac{\tau_{гдк}}{T_{ек}}}, \quad (1)$$

де $\tau_{гдк}$ – тривалість часу до досягнення концентрацією ртуті чи іншого забруднення ГДК.

Як зрозуміло, протягом часу $\tau = \tau_{гдк}$ після руйнування розрядної лампи зі вмістом ртуті, людина може знаходитися у даному забрудненому ртуттю приміщенні без істотної шкоди для здоров'я і обережно виконувати певні, зокрема демеркуризаційні, роботи. Подальше перебування людини у цьому приміщенні може бути допустимим лише у разі його інтенсивного провітрювання для видалення з нього накопиченої пари ртуті разом з повітрям. Наочно це показано на рис. 1.

Проте, провітрювання забруднених парами ртуті приміщень призводить до поширення ртуті у сусідні приміщення та у довкілля, що з точки зору охорони навколишнього середовища не може вважатися нормальною операцією.

Величина $\tau_{гдк}$ характеризує безпеку довкілля в разі забруднення парами ртуті.

Як впливає із співвідношення (1),

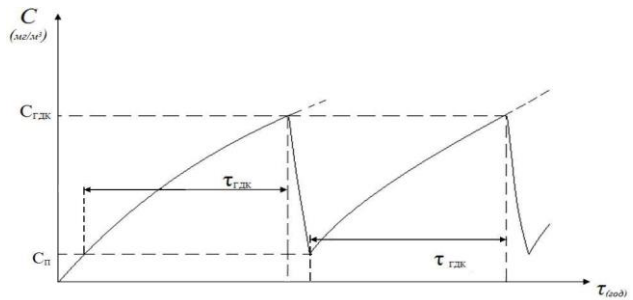


Рис. 1 – Динаміка зміни концентрації пари ртуті у забрудненому приміщенні у разі його періодичних провітрювань

$$-\frac{\tau_{гдк}}{T_{ек}} = \ln \frac{(c_y - c_{гдк})}{c_y - c_n} \quad \text{і}$$

$$\frac{\tau_{гдк}}{T_{ек}} = -\ln \frac{(c_y - c_{гдк})}{c_y - c_n}.$$

Оскільки $\ln 1 = 0$, то можна записати

$$\frac{\tau_{\text{здк}}}{T_{\text{ек}}} = \ln 1 - \ln \frac{(c_y - c_{\text{здк}})}{c_y - c_n} = \ln \frac{1}{\frac{c_y - c_{\text{здк}}}{c_y - c_n}},$$

або

$$\tau_{\text{здк}} = T_{\text{ек}} \ln \frac{c_y - c_n}{c_y - c_{\text{здк}}} = \frac{V_{\text{пр}} c_y}{W_{\text{вин}} S_{\text{вин}}} \ln \frac{c_y - c_n}{c_y - c_{\text{здк}}}.$$

Отже, величина $\tau_{\text{здк}}$ визначає тривалість відносної безпеки об'єктів різного призначення (без урахувань порівняно незначного часу провітрювань) у разі їх забруднень парою ртуті залежно від початкової концентрації пари цих забруднень (c_n), об'єму приміщень ($V_{\text{пр}}$), температури найхолоднішої їх ділянки (c_y), площі випаровування забруднень ($S_{\text{вин}}$), температури цих забруднень ($W_{\text{вин}}$) та ГДК їх пари у повітрі цих приміщень.

Оскільки при падінні на тверду поверхню чи під іншою будь-якою навіть незначною механічною дією ртуть легко розпадається на дрібні краплі (кульки) діаметром до 0,1 мм і менше, то, виходячи з цього, площу випаровування ртуті $S_{\text{вин}}$ можна представити як:

$$S_{\text{вин}} = \pi D_k^2 n_k = \pi D_k^2 \frac{V_{\text{рт}}}{V_k} = \pi D_k^2 \frac{G_{\text{рт}}}{\rho_{\text{рт}} V_k},$$

де D_k – середній діаметр кульок; $n_k = \frac{V_{\text{рт}}}{V_k}$ – кількість кульок, коли всі вони

мають діаметр D_k , а $V_{\text{рт}} = \frac{G_{\text{рт}}}{\rho_{\text{рт}}}$ – загальний об'єм ртутного забруднення;

$G_{\text{рт}}$ – загальна кількість (вага) ртутного забруднення; $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \text{ г/см}^3$ – пи-

тома вага ртуті; $V_k = \frac{\pi D_k^3}{6} = 0,524 D_k^3$ – об'єм однієї кульки.

Отже, у разі ртутного забруднення постійна часу ртутної безпеки $T_{\text{ек}}$ може бути визначена і таким співвідношенням:

$$T_{\text{ек}} = \frac{V_{\text{пр}} c_y}{W_{\text{вин}} S_{\text{вин}}} = \frac{V_{\text{пр}} c_y}{W_{\text{вин}} \left(\pi D_k^2 \frac{G_{\text{рт}}}{\rho_{\text{рт}} V_k} \right)} = 0,167 \frac{V_{\text{пр}} c_y \rho_{\text{рт}} D_k}{W_{\text{вин}} G_{\text{рт}}}. \quad (2)$$

Якщо, як зазвичай, об'єм приміщень вимірювати в м^3 , концентрацію ртуті у повітрі – в $\text{мг}/\text{см}^3$, питому вагу ртуті – в $\text{г}/\text{см}^3$, діаметр кульок ртуті – в мм, швидкість випаровування ртуті – в $\text{мг}/\text{год}\cdot\text{м}^2$, вагу ртутних забруднень – в мг, а також, коли $D_k = 0,1$ мм, то співвідношення (2) буде таким:

$$T_{ек} = 2,27 \cdot 10^5 \frac{V_{np} c_y}{W_{вин} G_{рт}} (\text{год}). \quad (3)$$

Співвідношення (3) для визначення постійної часу ртутної безпеки є значно зручнішим для практичного використання, ніж попереднє, оскільки в нього входить не площа випаровування ртуті, а загальна кількість (вага) вилитої ртуті. Відповідно при цьому зручнішим є і визначення значень величини $\tau_{зdk}$, оскільки

$$\tau_{зdk} = T_{ек} \ln \frac{c_y - c_n}{c_y - c_{зdk}} (\text{год}).$$

Висновки

Представлений новий екологічний параметр – величина $\tau_{зdk}$, що визначає термін безпечного перебування людей на об'єктах різного призначення у разі їх забруднення парою ртуті.

Отримане співвідношення для визначення постійної часу ртутної безпеки приміщень є зручнішим для практичного використання, ніж те, що отримано в роботі [7].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гигиенические критерии состояния окружающей среды // Ртуть: экологические аспекты применения. – М.: Медицина, 1992. – Вып. 6. – 130 с.
2. Ртуть – проблема XX века: зб. наук. праць. – СПб.: 1994. – С. 20–27.
3. Коста, Э. Эйхенбергер. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
4. Янин Е.П. Аспекты производства и использования ртутных ламп / Е.П. Янин. – М.: Диалог-МГУ, 1997. – 41 с.
5. Кухар В.П. Проблеми України – перехід до сталого розвитку / В.П. Кухар // Современные проблемы токсикологии. – 1998. – № 3. – С. 9–11.
6. Косорукова Н.В. Утилизация отходов ртутьсодержащих изделий / Н.В. Косорукова, Е.П. Янин // Светотехника. – 2002. – № 3. – С. 25–29.
7. Дмитруха Т.І. Зменшення ртутної небезпеки приміщень в разі руйнування в них джерел оптичного випромінювання / Т.І. Дмитруха // Електроніка та системи управління. – 2010. – № 4. – С. 121–124.

Стаття надійшла до редакції 08.02.2016