

ОЦІНКА НЕБЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В РАЗІ РУЙНУВАННЯ РТУТНИХ ЛАМП

Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд, Н. Г. Денисенко, В. П. Петрусенко

Національний авіаційний університет

пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680, Україна. E-mail: dmitrucha79@gmail.com

Проаналізовано небезпеку застосування ртутних джерел світла. Показані масштаби застосування ртутних джерел світла, а також доведений факт зберігання відпрацьованих ламп зі вмістом ртуті в непристосованих для цього місцях. Показано, що в Україні не працює схема контрольованої системи утилізації ртутних ламп і наведені масштаби відпрацьованих люмінесцентних ламп, що знаходяться без дотримання правил зберігання. Показано зміну концентрації пари ртуті в разі руйнування у приміщеннях різного об'єму люмінесцентної та компактної ртутної лампи. В роботі представлені результати розрахунку зміни концентрації пари ртуті у просторі приміщень площею 20 м² протягом місяця після руйнування в них люмінесцентної та компактної ламп. Показано, що в разі руйнування в приміщеннях люмінесцентної та компактної ртутних ламп перевищення гранично-допустимої концентрації буде зафіксовано починаючи з першої години потрапляння ртуті у приміщення. Надано оцінку небезпеки об'єкту за рахунок розрахунку ймовірності виникнення токсичного ефекту у людей, які знаходяться на об'єктах забруднених ртуттю. З'ясовано, що в разі руйнування компактної ртутної лампи в приміщенні площею 25 м² протягом дня оцінка виникнення токсичного ефекту є відносно невисокою, що відповідає середньому значенню ризику у соціальному середовищі. У разі ж руйнування люмінесцентної лампи оцінка ризику виникнення токсичного ефекту буде надзвичайно високою вже протягом години перебування людини на забрудненому об'єкті.

Ключові слова: екологічна безпека, ртуть, ртутні лампи.

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В СЛУЧАЕ РАЗРУШЕНИЯ РТУТНЫХ ЛАМП

Т. И. Дмитруха, С. М. Маджд, Н. Г. Денисенко, В. П. Петрусенко

Национальный авиационный университет,

пр. Космонавта Комарова, 1, Киев, 03680, Украина. E-mail: Dmitrucha79@gmail.com

Проанализирована опасность применения ртутных источников света. Показаны масштабы применения ртутных источников света, а также доказан факт сохранения отработанных ртутьсодержащих ламп в непригодных местах. Показано, что в Украине не работает схема контролируемой системы утилизации ртутных ламп и приведены масштабы отработанных люминесцентных ламп, которые находятся без соответствующих правил хранения. Показано изменение концентрации паров ртути в случае разрушения в помещениях разного объема люминесцентной и компактной ртутной лампы. В работе представлены результаты расчета изменения концентрации паров ртути в помещении объемом 20 м² в течение месяца после разрушения в них люминесцентной и компактной ртутной лампы. Показано, что в результате разрушения в помещениях люминесцентной и компактной ртутных ламп превышение предельно-допустимой концентрации будет зафиксировано начиная с первых часов поступления ртути в помещение. Приведена оценка опасности объекта благодаря расчету вероятности возникновения токсического эффекта у людей, которые находятся на загрязненных ртутью объектах. Выяснено, что в случае разрушения компактной ртутной лампы в помещении площадью 25 м² в течение дня оценка возникновения токсического эффекта относительно невысока, что отвечает среднему значению риска в социальной среде. В случае ж разрушения люминесцентной лампы оценка риска возникновения токсического эффекта будет очень высокой уже в течение часа пребывания человека на загрязненной ртутью территории.

Ключевые слова: экологическая безопасность, ртуть, ртутные лампы.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Стратегія енергозбереження в Україні на період до 2030 року передбачає заощадливе та збалансоване використання енергетичних ресурсів. В теперішніх умовах це неможливо без впровадження заощадливих технологій та використання у виробництві та побуті освітлювальних приладів з високими енергоощадними характеристиками.

Переважає більшість енергоекономних джерел світла виготовляються із вмістом ртуті. В таблиці 1 систематизовані дані щодо маси ртуті в лампах найбільших світлотехнічних компаній *Philips*, *Osram* (*Siemens*) і *General Electric Lighting*, які

виробляють більше ніж 65% всіх ламп, що випускаються у світі.

Таблиця 1 – Склад ртуті в лампах закордонного виробництва

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

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

Безпека експлуатації джерел світла з ртутним наповненням досягається лише за умов їх цілісності. Незруйновані ртутні джерела світла є абсолютно безпечними і не шкідливими для людей і довкілля [1,2].

Останнім часом дуже часто фіксуються їх руйнування при експлуатації, під час транспортування, зберігання і утилізації, а також через необережність і недбалість поводження з ними, що призводить до негативних наслідків.

Масштаби використання джерел світла зі вмістом ртуті збільшуються з кожним роком. На даний час в Україні ртутні джерела світла забезпечують біля 70% світлової енергії, що генерується штучними джерелами світла [3,4]

В останні роки все частіше фіксується перевищення гранично допустимої концентрації пари ртуті на об'єктах різного призначення. Дуже часто ці забруднення пов'язані з масовим руйнуванням люмінесцентних та інших розрядних ламп, що містять ртуть.

Особливо небезпечним є те, що в Україні відсутня єдина система утилізації відпрацьованих джерел світла з ртутним наповненням і дуже часто відпрацьовані ртутні джерела світла знаходяться на полігонах та стихійних сміттєзвалищах .

Переважає кількість ртутних джерел світла, що вийшли з експлуатації зберігається на територіях підприємств і організацій без дотримання норм та правил зберігання [5].

Загальна ж кількість відпрацьованих ртутних ламп, які відносяться до 1 класу небезпеки і знаходяться на територіях підприємств складає 1,7 млн. штук [6]. З них 495,8 тис. штук або 29% – на території Донецької області, 181,8 тис. штук (11%) – Житомирської, 124,5 тис. штук (7%) – Сумської, 122,8 тис. штук (7%) – Рівненської, 101,6 тис. штук (6%) – Запорізької, 94,2 тис. штук (6%) – Миколаївської, 78,5 тис. штук (5%) – Кіровоградської області та 140,2 тис. штук (8%) – на території Києва (рис.1).

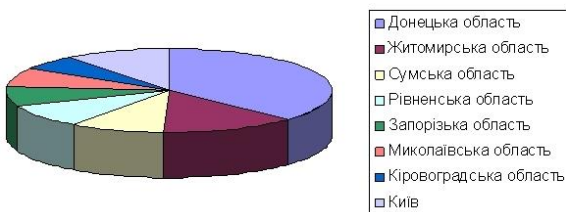


Рисунок 1 – Кількість відпрацьованих люмінесцентних ламп на території України

Метою роботи є оцінювання рівня екологічної небезпеки об'єктів різного призначення в разі руйнування ртутних ламп.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. У разі руйнування ртутних ламп на різних об'єктах кількість ртуті $G_{рт}$, що потрапляє у приміщення, залежно від типу лампи може складати від 2,5 – 80 мг і більше [7]. При падінні на тверду поверхню ртуть розпадається на дрібні краплі (кульки)

діаметром до 0,1 мм і менше. Тому поверхня випаровування ртутного забруднення $S_{абі}$, може бути визначена таким чином:

$$S_{вип} = \pi D_k^2 n_k = 3,14 D_k^2 n_k,$$

де D_k – діаметр кульки; n_k – кількість кульок;

$n_k = \frac{V_{рт}}{V_k}$, де $V_{рт}$ – загальний об'єм ртутного

забруднення; $V_{рт} = \frac{G_{рт}}{\rho_{рт}}$, де $G_{рт}$ – загальна кількість

(вага) ртутного забруднення, зокрема, кількість ртуті в ЛЛ, що зруйнована в приміщенні, $\rho_{рт}$ –

питома вага ртуті; V_k – об'єм однієї кульки;

$$V_k = \frac{\pi D_k^3}{6} = 0,524 D_k^3.$$

В роботі [8,9] отримано загальне співвідношення, яке 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. Воно являє собою експоненціальну залежність такого виду:

$$c = c_y - (c_y - c_n) e^{-\frac{\tau}{T_{ек}}},$$

де c_y у разі ртутного забруднення – усталене значення концентрації пари ртуті, яке, як відомо, відповідає температурі найхолоднішої ділянки приміщення; c_n – початкова концентрація пари ртуті у повітрі приміщення, тобто в момент часу τ ,

який прийнятий за початковий; $T_{ек} = \frac{V_{пр} c_y}{W_{вип} S_{вип}}$, де

$V_{пр}$ – об'єм приміщення; $W_{вип}$ – швидкість випаровування ртуті при її температурі у приміщенні.

Величину $T_{ек} = \frac{V_{пр} c_y}{W_{вип} S_{вип}}$ у ній можна

розглядати як параметр, який характеризує хід і інтенсивність процесу зміни концентрації пари ртуті у повітрі приміщень протягом часу. Вона має розмірність часу. За аналогією з іншими фізичними перехідними процесами ця величина також може розглядатися як постійна (стала) часу і за вмістом стосовно ртуті отримала в роботі назву постійної часу ртутної безпеки.

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 у разі випаровування інших речовин, встановлюється тиск насиченої пари ртуті. Цей тиск, зокрема, визначається значенням найхолоднішої ділянки даного простору t_x , що є результатом пере конденсації пари. Відповідно концентрація речовини у просторі з таким рівноважним станом залишається незмінною, хоча процес випаровування речовини

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

продовжується. Практично замкненим простором можна вважати і порівняно герметичне не провітрюване приміщення, тобто доки приміщення не провітрюється його практично можна вважати замкненим простором.

На рис. 2, 3 представлені результати розрахунку зміни концентрації пари ртуті у просторі приміщень площею 20 м² протягом місяця після руйнування в них люмінесцентної та компактної ламп.

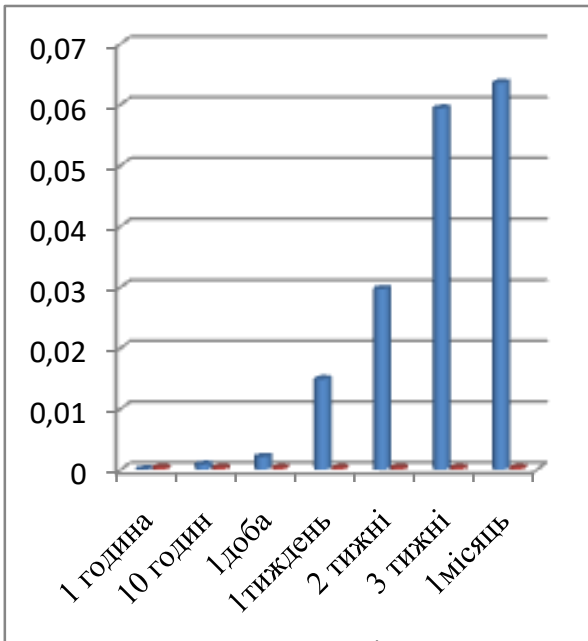


Рисунок 2 – Зміна концентрації пари ртуті в разі руйнування люмінесцентної лампи з виливом 50 мг ртуті у приміщенні S = 20 м²

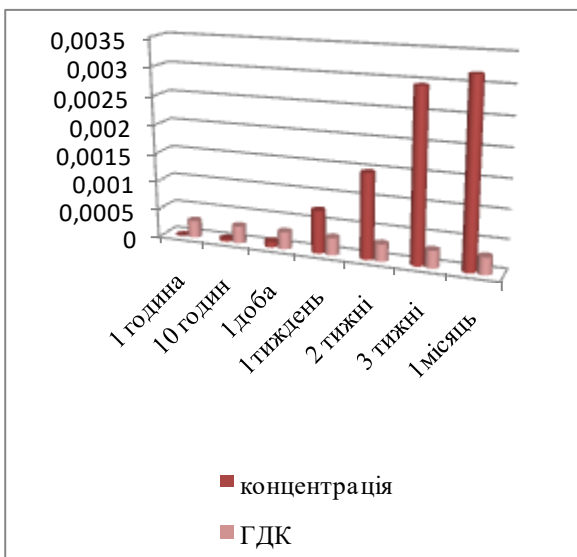


Рисунок 3 – Зміна концентрації пари ртуті в разі руйнування компактної лампи з виливом 2,5 мг ртуті у приміщенні S = 20 м²

Аналізуючи дані, ми бачимо, як зростає небезпека в повітрі протягом різного часу в разі руйнування люмінесцентної та компактної ламп.

Як видно з рисунків, в разі руйнування в приміщеннях люмінесцентної та компактної ртутних ламп перевищення ГДК буде зафіксовано починаючи з першої години потрапляння ртуті у приміщення. Так, при збільшенні часу, збільшується і концентрація пари ртуті.

Оцінити небезпеку об'єкту можливо розрахувавши ймовірність виникнення токсичного ефекту у людей, які знаходяться на об'єктах забруднених ртуттю.

При розрахунках ризиків звичайно виходять з припущення, що токсичність забруднюючих речовин при низьких рівнях концентрації прямо пропорційна цій концентрації, а також, що ймовірність токсичної дії (токсичного ефекту) на живі організми та навколишнє природне середовище тим більше, чим довший час контакту. На основі цього, розрахунок екологічного ризику будемо вести за формулою :

$$Risk = 1 - e^{-UR \cdot C} \quad (1)$$

де Risk – ймовірність (у долях одиниці) виникнення ефекту від дії забруднюючої речовини при заданих початкових умовах; C – концентрація речовини в організмі або у навколишньому природному середовищі, мг/м³; UR – одиниця ризику, що визначається як фактор пропорції росту ризику в залежності від дози м³/мг.

Один з методів розрахунку UR оснований на даних про ступінь порушення здоров'я при зміні рівня забруднення природного навколишнього середовища (атмосферного повітря). Якщо для деякої концентрації C_i відома ймовірність захворювання (у долях одиниці), то UR визначається як

$$UR = \frac{-\ln(1 - Risk)}{C_i}$$

Максимальні разові концентрації зв'язані з граничними співвідношенням:

$$ГДК_{MP} = \frac{C_{zp}}{K_3}$$

де ГДК_{MP} – максимальна разова гранична допустима концентрація мг/м³; K₃ – коефіцієнт запасу, що дорівнює 7,5 для речовини першого класу небезпеки, 6 – для речовини другого класу, 4,5 – для третього класу та 3 – для четвертого класу. Приймавши у рівнянні ризику C=C_{zp} та Risk = 0,16, отримаємо:

$$e^{-UR \cdot C_{zp}} = 0,84; \quad UR = \frac{-\ln 0,84}{ГДК_{MP} K_3} \quad (2)$$

Отже, вираз для ризику з врахуванням (1) приймає вигляд:

$$Risk = 1 - e^{\frac{\ln 0,84}{ГДК_{MP} K_3} \cdot C} \quad (3)$$

Рівень екологічного ризику будемо оцінювати за орієнтовною шкалою ризиків табл.2 [10]. Подальші

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

оцінки екологічного ризику проведені за вказаною методикою та відповідно до орієнтовної шкали ризиків.

Таблиця 2 – Орієнтовна шкала оцінки екологічного ризику

Рівень ризику, кількість випадків за рік	Оцінка ризику виникнення токсичного ефекту
Більше 10^{-2}	Надзвичайно високий рівень ризику
$10^{-3} - 10^{-2}$	Високий рівень ризику
$10^{-4} - 10^{-3}$	Відносно невисокий рівень ризику, що відповідає середньому значенню ризику у соціальному середовищі
Менше 10^{-4}	Малий рівень ризику

Згідно формули 3 ми розраховуємо вірогідність виникнення токсичного ефекту (рис. 4, 5) у людей у разі перебування їх в приміщенні різної площі протягом місяця після руйнування в ньому люмінесцентної та компактної ртутної лампи з виливом 50 та 2,5 мг. ртуті, якщо $t_{рт} = 20^{\circ}C$ і температура найхолоднішої ділянки ($t_x = 10^{\circ}C$)².

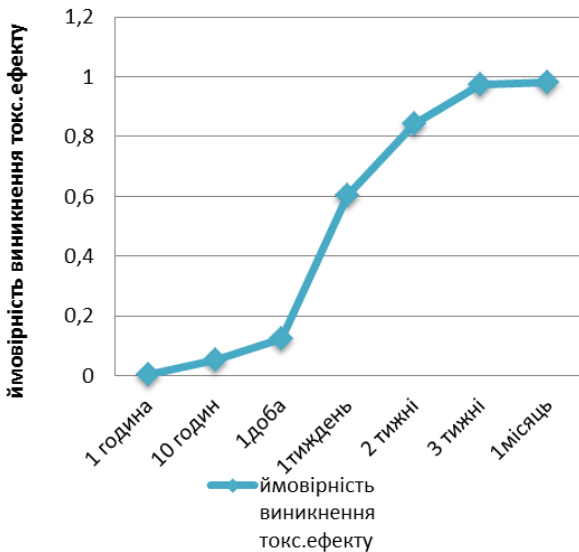


Рисунок 4 – Ймовірність виникнення токсичного ефекту в разі руйнування люмінесцентної лампи в приміщенні площею 25 м²

В процесі проведених розрахунків було з'ясовано, що в разі руйнування компактної ртутної лампи в приміщенні площею 25 м² протягом дня оцінка виникнення токсичного ефекту є відносно невисокою, що відповідає середньому значенню ризику у соціальному середовищі. Проте, в разі перебування людини на забрудненому об'єкті протягом місяця, оцінка ризику виникнення токсичного ефекту є надзвичайно високою і буде становити 0,176. Це означає, що 17 чоловік із 100 будуть мати токсичний прояв).

В разі ж руйнування люмінесцентної лампи оцінка ризику виникнення токсичного ефекту буде надзвичайно високою вже протягом години

перебування людини на забрудненому об'єкті. Ймовірність виникнення токсичного ефекту протягом місяця для приміщення, площею 25 м² буде становити 0,981. Отже, 98 чоловік із 100 будуть мати токсичний прояв.

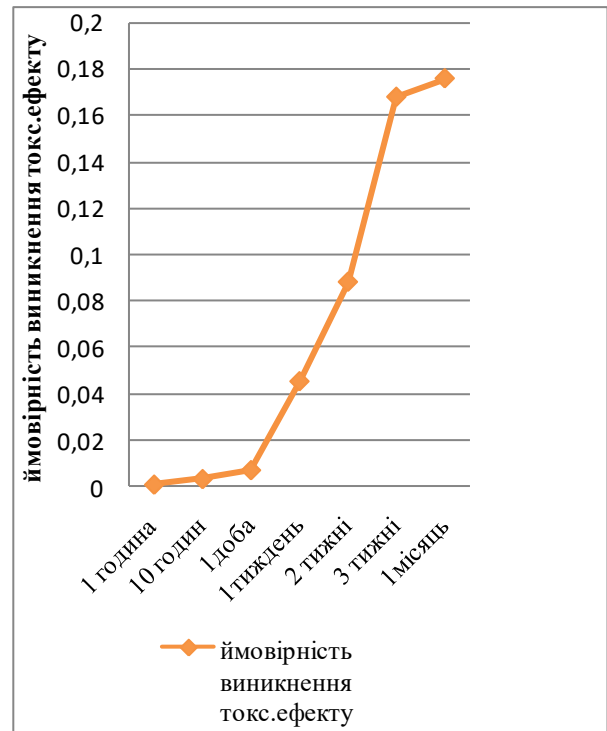


Рисунок 5 – Ймовірність виникнення токсичного ефекту в разі руйнування компактної лампи в приміщенні площею 25 м²

ВИСНОВКИ.

1. В разі руйнування компактної ртутної лампи в приміщеннях різної площі було з'ясовано, що оцінка виникнення токсичного ефекту є відносно невисокою, що відповідає середньому значенню ризику у соціальному середовищі. Проте, в разі перебування людини на забрудненому об'єкті протягом місяця, оцінка ризику виникнення токсичного ефекту є надзвичайно високою.

2. В разі ж руйнування люмінесцентної лампи в приміщеннях різної площі оцінка виникнення токсичного ефекту буде надзвичайно високою вже протягом години перебування людини на забрудненому об'єкті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бессонов В.В. Оценка эмиссии ртути ртутьсодержащими искусственными источниками оптического излучения // Экологическая экспертиза. – 2005. – № 1. – с. 9 – 30.
2. Кундиев Ю.И. Химическая опасность в Украине и меры по ее предупреждению // Журнал АМН Украины. – 2004. – т. 10, № 2. – С. 254 – 267.
3. Янин Е.П. Ртутные лампы как источник загрязнения. – М.: ИМГРЭ, 2005. – 15 с.
4. Бессонов В.В. Эмиссия ртути при производстве газоразрядных ламп. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 59 с.

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

5. Трахтенберг И.М. Ртуть и ее соединения в окружающей среде . – К.: Вища школа, 1990. – 232 с.
6. Гигиенические критерии состояния окружающей среды // Ртуть: экологические аспекты применения. – М.: Медицина, 1992. – Вып. 6. – 130 с. 3.
7. Виноградов В.Н. Пары ртути в помещениях. – СПб.: 1991. – 5 с.
8. 8.Dmitrucha T. The analysis of environmental state of various-purpose objects in case of their illumination with mercury containing sources of light //

- Proceedings of the National aviation university. – 2015. – № 1. – P. 85–88.
9. Повстень В.О. Захист людей від випаровувань ртуті у забруднених нею приміщеннях різного призначення. // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць. – К.: КНУБА, 2014. – Вип. 14. – С. 95–100.
10. Качинський А. Б. Методологічні основи ризику в медико-екологічних дослідженнях та його значення для екологічної безпеки України // Лікарська справа. — 1995. — № 3–4. — С. 5–15.

DANGER EVALUATION OF DIFFERENT-PURPOSE OBJECTS IN THE CASE OF MERCURY-VAPOUR LAMPS DESTRUCTION

T. Dmytrukha, S. Madzhd, N. Denysenko, V. Petrusenko

National aviation university,

prosp. Kosmonavta Komarova, 1, Kyiv, Ukraine, 03680. E-mail: Dmitrucha79@gmail.com

Purpose. To investigate the danger of different-purpose objects in the case of mercury sources of light destruction and also to evaluate the toxic effect emerging in the case of a human being presence at the mercury polluted objects. **Methodology.** The exponential smoothing method is applied in this investigation and it allows to define concentration dynamics of pollution vapour in the space of industrial and other buildings including the case of discharged mercury sources of light destruction in them. **Results.** The results of calculations of mercury vapour concentration change in the space of industrial buildings which area is 20 m² during the month after the luminescent and compact mercury lamp destruction are presented in the investigation. It is obviously shown that in the case of luminescent and compact mercury lamp destruction in industrial buildings the excess of concentration limits will be fixed starting with the very first hour of mercury penetration in the building. The danger of the object is also evaluated by means of calculating the toxic effect emerging probability with people who are present at the mercury polluted objects.

Originality. It is also estimated that in the case of compact mercury lamp destruction in the space of industrial buildings which area is 25 m², the probability of toxic effect emerging is relatively low and that complies with the average risk value in the social environment. In the case of luminescent lamp destruction the risk evaluation of the toxic effect emerging will be extremely high during one-hour presence of a human being in the polluted building. **Practical value.** The following experiments allow to define mercury vapour concentration in the polluted building and also calculate the toxic effect that is rather important while solving the problem of acute and chronic human poisonings. *References 10, tables 2, figures 5.*

Key words: ecological safety, mercury, mercury-vapour lamps.

REFERENCES

1. Bessonov, V. and Yanin, E. (2005), Estimation of mercury emission by mercury-containing artificial sources of optical radiation, Environmental expertise, vol. 1, pp. 9 – 30.
2. Kundiev, U. and Trakhtenberg, I. (2004), Chemical danger in Ukraine and measures to prevent it, *Journal of Academy of Medical Sciences of Ukraine, IMGRE, Moscow*, vol. 2, pp. 254 – 267.
3. Yanin, E. (2005), Mercury lamps as a source of pollution, IMGRE, Moscow.
4. Bessonov, V. and Yanin, E. (2004), Mercury emission in the production of gas-discharge lamps, IMGRE, Moscow.
5. Trakhtenberg, I. and Korshun, M. (1990), Mercury and its compounds in the environment, *Vyshcha shkola, Kyiv*.
6. Hygienic criteria for the state of the environment// Mercury: environmental aspects of application, *Medicina, Moscow*, vol. 6.

7. Vinogradov, V., Milkov, G. and Lashkov, B. (1991), Vapors of mercury in the premises, SPb.
8. Dmitrucha T. (2015), The analysis of environmental state of various-purpose objects in case of their illumination with mercury containing sources of light, *Proceedings of the National aviation university*, vol. 1, pp. 85–88.
9. Povsten, V., Korshun, M. and Dmitrucha, T. (2014), Protecting people from mercury evaporation in contaminated premises of different purpose, *Environmental safety and nature management, collection of scientific works of Kyiv National University of Construction and Architecture*, vol. 14, pp. 95–100.
10. Kachinskiy, A. and Serdyk, A. (1995), Methodological bases of risk in medical-ecological researches and its importance for ecological safety of Ukraine, *Medical case*, vol. 3-4, pp. 5–15.