

## ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ З РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

**Вступ.** У сучасному світі особливу увагу привертають питання захисту фахівців різних спеціальностей у зонах екологічної катастрофи природного та антропогенного походження. Дані про екологічні катастрофи внаслідок техногенних аварій, військових конфліктів, надходить з різних регіонів нашої планети. Екологічна криза сучасності та особливості новітніх технологій потребують від випускників вищих навчальних закладів постійного удосконалення знань з цивільного захисту, охорони праці, безпеки життєдіяльності [1–8]. У кожній з цих дисциплін значну увагу приділяють питанням радіаційної безпеки. Так, наприклад, предметом вивчення дисципліни «Цивільний захист» є педагогічно адаптована система понять про планування та організацію цивільного захисту згідно з законодавчою та нормативною базою України. Одним з важливих завдань дисципліни «Цивільний захист» є виявлення та прогнозування радіаційної обстановки та планування заходів захисту населення при руйнуванні радіаційно-небезпечних об'єктів.

Метою вивчення дисципліни «Основи охорони праці» є формування знань, умінь, здатностей (компетенцій) для здійснення ефективної професійної діяльності шляхом забезпечення оптимального управління охороною праці на підприємствах, формування у студентів відповідальності за особисту та колективну безпеку [1–8]. Одним з важливих завдань дисципліни «Основи охорони праці» є способи та заходи забезпечення радіаційної безпеки у робочій зоні. Питання радіаційної безпеки в надзвичайних ситуаціях також розглядаються при вивченні студентами дисципліни «Безпека життєдіяльності».

Таким чином, при вивченні кожної з вказаних вище дисциплін, студенти повинні набути знання одиниць вимірювання іонізуючої радіації, механізму її дії

на людину та екосистему, систем контролю випромінювань та способів захисту людини та екосистеми.

В зонах надзвичайних ситуацій на території України радіаційний контроль здійснюється підрозділами радіаційної, хімічної, біологічної розвідки з використанням штатних технічних засобів радіаційної розвідки та контролю (ТЗРРК) різних типів (радіометри, дозиметри, спектрометри), які позитивно зарекомендували себе у радіаційному моніторингу [7]. Достовірна вимірювальна інформація може бути отримана тільки із застосуванням апробованих методик вимірів, які враховують специфіку розв'язуваних задач [11–17]. Виконання лабораторної роботи з радіаційної безпеки є одним з ефективних способів для студентів набути практичні навички та знання з оцінки та прогнозування радіаційної обстановки. При проведенні лабораторної роботи з радіаційної безпеки доцільно використовувати дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА», який виробляється в Україні. Водночас при роботі з конкретним приладом виникає необхідність створення ефективної методики, яка забезпечить отримання достовірних даних [6–10].

**Мета і завдання.** Метою роботи є розробка методики вимірювання потужності еквівалентної дози дозиметром – радіометром МКС-05 «ТЕРРА» при проведенні лабораторної роботи з радіаційної безпеки при вивченні дисциплін «Безпека життєдіяльності», «Цивільного захисту» та «Основи охорони праці». Для розробки методики вимірювання потужності еквівалентної дози треба визначити кількість вимірів у кожній точці, порядок розрахунку систематичної та випадкової похибок.

**Результати досліджень.** Проведення лабораторної роботи з радіаційної безпеки може здійснюватися у двох напрямках. Перший - дослідження з використанням

джерел радіації. Другий - вимірювання потужності еквівалентної дози при радіаційному контролі. У кожному випадку перш за все необхідно розробити методику виконання вимірів потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання з урахування особливостей конкретного дозиметра.

В роботі [11, 14] автори почали роботу з розробки складових частин лабораторної роботи з радіаційної безпеки, які пропонують методику виконання вимірів потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА» при проведенні радіаційного контролю території.

В процесі виконання експериментальних досліджень використовували сертифікований дозиметр – радіометр МКС-05 «ТЕРРА» метрологічні характеристики якого повністю відповідають вимогам [5]. Для проведення вимірювань потужності еквівалентної дози була розроблена відповідна методика [5-7, 11, 14] яка дозволяє врахувати нестационарність вимірюваного процесу.

**Методика досліджень потужності еквівалентної дози дозиметром МКС-05 «ТЕРРА» при проведенні лабораторної роботи з радіаційної безпеки.** В методичному плані, з метою порівняльного аналізу отриманих результатів досліджень, доцільно навчальну групу розділити на підгрупи. На кінцевому етапі досліджень викладач організує обговорення отриманих результатів. При цьому основний акцент необхідно зробити на стохастичному характері досліджуваного процесу, виді і величині похибок вимірювань. Методика досліджень полягає в наступному:

1. Діапазон потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання при проведенні лабораторної роботи повинен лежати в межах від 0,10 мкЗв/ч до 9999 мкЗв/ч.

2. Межа основної відносної випадкової похибки вимірів, не повинна перевищувати 15 %.

3. При виконанні вимірів ПЕД необхідно використовувати подовжувальну шта-

нгу, універсальний штатив і інші допоміжні пристрої для фіксації дозиметра-радіометра в робочому положенні.

4. Вимірювання рівнів ПЕД здійснюється шляхом реєстрації гамма-квантів газорозрядним лічильником з подальшою обробкою даних.

5. При виконанні вимірювань необхідно дотримуватись умов, які викладені в інструкції з експлуатації дозиметра-радіометра. Інтервал робочих температур  $-10^{\circ}\text{C}$  –  $+40^{\circ}\text{C}$ , атмосферний тиск 84–106,7 кПа.

6. Вимірювання рівнів ПЕД проводиться згідно наступної методики:

6.1 Встановити режим проведення вимірювань відповідно до інструкції з експлуатації дозиметра-радіометра.

6.2 Дозиметр розташовують горизонтально, при цьому центр детектора (позначений спеціальною міткою) має бути спрямований вниз.

6.3 Проводиться 5 вимірів рівня ПЕД радіаційного фону з фіксованим часом вимірів в кожній контрольній точці.

6.4 При обстеженні території вимірювання рівнів ПЕД проводиться на висоті 1 м від поверхні [6]. Для визначення району з найменшим рівнем радіаційного забруднення доцільно застосовувати методику визначення району з найменшим рівнем радіаційного зараження [7, 8].

6.5 Досліджувана територія покривається віртуальною сіткою. Комірка сітки - квадрат з стороною від 20 м. до 50 м (розмір сторони визначається рельєфом місцевості). Заміри потужності дози проводяться на висоті 1 м в вузлах сітки.

6.6 Якщо при дослідженнях у вузлах сітки і на території зони населеного пункту усі виміри потужності доз не перевищують 30 мкбер/годину, то детальне обстеження не проводиться. При більш високих значеннях в вузлах сітки навколо них в радіусі близько 20 м проводиться додатково не менше 12 вимірів і за ними визначаються середні значення для цих вузлів.

7. Результати вимірювань потужності доз заносяться у відповідні журнали і наносяться на карту, або схему населеного пункту. Аномальні значення потужності

дози в локальних плямах повинні реєструватися окремо.

8. Обробка результатів вимірювань.

8.1 Результатом вимірювань є ПЕД, виражена в мкЗв/годину, що знаходиться в інтервалі з довірчою ймовірністю  $P=0,95$   $ПЕД_{вим}-\Delta < ПЕД < ПЕД_{вим}+\Delta$ . Результат виміру має бути представлений у виді:

$$ПЕД = ПЕД_{вим} \pm \Delta, \quad (1)$$

де  $ПЕД_{вим}$  - виміряне значення потужності еквівалентної дози або середнє за декількома вимірами, мкЗв/годину;  $\Delta$  - половина ширини довірчого інтервалу, мкЗв/годину.

8.2 Якщо виміряне значення  $ПЕД_{вим}$  менше мінімально вимірюваної для використання приладу величини ( $ПЕД_{min}$ ), результат вимірів представляють у виді

$$ПЕД = ПЕД_{min}, \quad (2)$$

де  $ПЕД_{min}$  - нижня межа діапазону вимірювань у відповідності з інструкцією з експлуатації вимірювального приладу.

9. Оформлення результатів. Результати вимірювань реєструють в робочому журналі.

При проведенні лабораторних досліджень з радіаційної безпеки студенти повинні набути практичних навичок з обробки отриманих результатів, враховуючи при цьому характер вимірюваного фізичного процесу та систематичні і випадкові похибки вимірювань. Обробку отриманих результатів при проведенні вимірів ПЕД необхідно починати з визначення випадкової похибки нерівнорозсіяних рівноточних вимірів отриманих за допомогою дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА». Для цього, спочатку необхідно визначити оцінку середнього значення нерівно розсіяних рядів вимірів  $\bar{X}_0$  (мкбер/годину) за формулою:

$$\bar{X}_0 = \frac{\sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{\bar{x}_j}} \cdot \bar{x}_j}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{\bar{x}_j}}}, \quad (3)$$

де  $\bar{X}_0$  - оцінка середнього значення нерівно розсіяних рядів вимірів (мкбер/годину);  $m$  - кількість груп (50);

$S_{\bar{x}_j}$  - СКВ в кожній групі (мкбер/годину);  $j - 1...50$  кількість груп;  $\bar{X}_j$  середнє значення ПЕД в одній групі (мкбер/годину).

Середнє СКВ для усіх груп вимірів  $S_{\bar{x}_j}$  (мкбер/годину) розраховують за виразом:

$$S_{\bar{x}_j} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad (4)$$

де  $S_{\bar{x}_j}$  - СКВ для кожної групи вимірів (мкбер/годину);  $x_j$  - значення ПЕД кожного з вимірів (мкбер/годину);  $\bar{x}$  - середнє значення ПЕД у даній групі вимірів (мкбер/годину);  $n$  - кількість вимірів у даній групі.

Випадкову похибку нерівнорозсіяних рівноточних вимірів  $\varepsilon$  (мкбер/годину) розраховують за наступною формулою:

$$\varepsilon = t_p \cdot S_{\bar{x}_0}, \quad (5)$$

де  $\varepsilon$  - випадкова похибка вимірів (мкбер/годину);  $t_p$  - коефіцієнт Стьюдента з кількістю ступенів свободи  $K_{ef}$  (при 5 вимірах для довірчої ймовірності 95%  $K_{ef}=2,8$ );  $S_{\bar{x}_0}$  - середнє СКВ для усіх груп вимірів (мкбер/годину).

Для формули (5) середнє СКВ для усіх груп вимірів  $S_{\bar{x}_0}$  (мкбер/годину) розраховують за наступною формулою:

$$S_{\bar{x}_0} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \alpha_j^2}, \quad (6)$$

де  $S_{\bar{x}_0}$  - середнє СКВ для усіх груп вимірів (мкбер/годину);  $\alpha_j = \frac{1}{S_{\bar{x}_j}}$  - зворотна дисперсія (вагові коефіцієнти) окремих середніх арифметичних для кожної групи вимірів;

$S_{\bar{x}_j}$  - СКВ в кожній групі вимірів (мкбер/годину);  $m=50$  - кількість груп вимірів. Кількість ступенів свободи  $K_{ef}$  визначається як:

$$K_{ef} = \left[ \frac{(\sum_{j=1}^m \alpha_j)^2}{\sum_{j=1}^m \frac{\alpha_j^2}{(n_j+1)}} \right] - 2, \quad (7)$$

де  $n_j$  - кількість вимірів у даній  $j$ -й групі;  $m$  - кількість груп.

Таблиця 1 - Вимірне значення потужності еквівалентної дози (ПЕД) у постійній точці

Оцінка середнього значення нерівно розсіяних рядів вимірів $\bar{x}_0$	Середнє СКВ для усіх груп вимірів $S_{\bar{x}_0}$ , (мкбер/год)	Довірчий інтервал ПЕД з довірчою ймовірністю 95%, $\epsilon$ (мкбер/год.)	Довірчий інтервал у відсотках відносно середнього арифметичного значення ПЕД	Сумарна не виключена систематична похибка $\theta_p$ , (мкбер/год.)	Сумарна не виключена систематична похибка у відсотках відносно середнього арифметичного значення ПЕД, $\theta_p$
7,65	0,0033	0,01	0,13	3,77	47,1

Отримані тестові дані вимірів потужності еквівалентної дози та розрахунок оцінки середнього значення нерівно розсіяних рядів вимірів  $\bar{X}_j$  за формулами (3-7) наведені у таблиці 1.

Вони показують, що значення оцінки середнього значення нерівно розсіяних рядів вимірів  $\bar{X}_j$  у 50 групах по 5 вимірів у одній точці склало 7,65 мкбер/годину. Загальна кількість вимірів становить 250. Середньо арифметичне значення ПЕД з 250 вимірів дорівнює 8,0 мкбер/годину.

При проведенні лабораторних досліджень викладач повинен акцентувати увагу студентів на тому що для визначення величини сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА» слід врахувати всі її складові.

$$\theta_p = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^R \theta_i^2}, \quad (8)$$

де  $\theta_p$  – величина сумарної не виключеної систематичної похибки для усіх груп вимірів (мкбер/годину);  $k = 1,1$  при довірчій ймовірності 0,95;  $\theta_i^2$  – величина сумарної не виключеної систематичної похибки для окремої групи вимірів.

Для визначення величини першої складової сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА» слід врахувати, що  $\theta_1$  обумовлена зміною енергетичного діапазону фотонного іонізуючого випромінювання від 0,05 МеВ до 1,25 МеВ. З паспорту дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА» відомо, що значення цієї похибки  $\delta_1 = \pm 25\%$ . Першу складову сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05

«ТЕРРА»  $\theta_1$  розраховують за наступною формулою:

$$\theta_1 = \delta_1 \cdot \bar{x}_0 = 0,25 \cdot 7,65 = 1,91 \text{ мкбер/годину}, \quad (9)$$

де  $\theta_1$  – перша складова сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА» (мкбер/годину);  $\delta_1$  – значення систематичної похибки, що зумовлена зміною енергетичного діапазону фотонного іонізуючого випромінювання від 0,05 МеВ до 1,25 МеВ ( $\pm 25\%$ );  $\bar{x}_0$  – оцінка середнього значення нерівно розсіяних рядів вимірів (мкбер/годину).

Для визначення величини другої складової сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра – радіометра МКС-05 «ТЕРРА» слід врахувати, що межі основної систематичної похибки згідно паспорта дозиметра складає 6,8%. Таким чином, другу складову сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра  $\theta_2$  розраховують за наступною формулою:

$$\theta_2 = \delta_2 \cdot \bar{x}_0 = 0,068 \cdot 7,65 = 0,52 \text{ мкбер/годину}, \quad (10)$$

де  $\theta_2$  – друга складова сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА» (мкбер/годину);  $\delta_2$  – значення похибки, що зумовлена межами основної систематичної похибки згідно паспорта дозиметра (6,8%);  $\bar{x}_0$  – оцінка середнього значення нерівно розсіяних рядів вимірів (мкбер/годину).

Для визначення величини третьої складової сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-

радіометра МКС-05 «ТЕРРА» слід врахувати, що  $\theta_3$  обумовлена анізотропією дозиметра при падінні гамма-квантів під тілесним кутом від  $30^\circ$  до  $150^\circ$  відносно основної осі детектора та зі сторони основного напрямку вимірювань. З паспорту дозиметра–радіометра МКС-05 «ТЕРРА» відомо, що для ізотопів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{60}\text{Co}$  за рахунок анізотропії дозиметра значення систематичної похибки  $\delta_3 = \pm 25\%$ . Третю складову сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра–радіометра МКС-05 «ТЕРРА»  $\theta_3$  розраховують за наступною формулою:

$$\theta_3 = \delta_3 \cdot \bar{x}_0 = 0,25 \cdot 7,65 = 1,91 \text{ мкбер/годину}, \quad (11)$$

де  $\theta_3$  – третя складова сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра–радіометра МКС-05 «ТЕРРА» (мкбер/годину);  $\delta_3$  – значення систематичної похибки, що зумовлена межами основної систематичної похибки згідно паспорта дозиметра ( $\pm 25\%$ );  $\bar{x}_0$  – оцінка середнього значення нерівно розсіяних рядів вимірів (мкбер/годину).

Для визначення величини четвертої складової сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра–радіометра МКС-05 «ТЕРРА» слід врахувати, що  $\theta_4$  обумовлена відхиленням напруги живлення від номінального значення в діапазоні від 3,2В до 2,4 В. Згідно паспорта дозиметра значення систематичної похибки  $\delta_4$ , яка обумовлена відхиленням напруги живлення від номінального значення, складає ( $\pm 10\%$ ). Четверту складову сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра–радіометра МКС-05 «ТЕРРА»  $\theta_4$  розраховують за наступною формулою:

$$\theta_4 = \delta_4 \cdot \bar{x}_0 = 0,1 \cdot 7,65 = 0,765 \text{ мкбер/годину}, \quad (12)$$

де  $\theta_4$  – четверта складова сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра–радіометра МКС-05 (мкбер/годину);  $\delta_4$  – значення систематичної похибки, що зумовлена відхиленням напруги живлення від номінального значення згідно паспорта дозиметра ( $\pm 10\%$ );  $\bar{x}_0$  – оцінка середнього значення

нерівно розсіяних рядів вимірів (мкбер/годину).

Для визначення величини п'ятої складової сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра–радіометра МКС-05 «ТЕРРА» слід врахувати, що  $\theta_5$  обумовлена відхиленням температури навколишнього середовища від  $20^\circ\text{C}$ . Згідно паспорта дозиметра, відхилення на кожні  $10^\circ\text{C}$  від  $20^\circ\text{C}$  дає сумарну не виключену систематичну похибку  $\delta_{t_5} = \pm 5\%$ . Дозиметр–радіометр «ТЕРРА» згідно паспорта може працювати у межах від  $-10^\circ\text{C}$  до  $+40^\circ\text{C}$ . Визначимо похибку відхилення температури навколишнього середовища від  $20^\circ\text{C}$ .

$$|\Delta\theta_5| = [(+40 - 20)] + [20 - (-10)] = 50^\circ\text{C}. \quad (13)$$

Для розрахунку меж відносної похибки, що зумовлена відхиленням температури, знаходимо коефіцієнт впливу  $\xi_{\delta\theta_5}$  за наступною формулою:

$$\xi_{\delta\theta_5} = \frac{\delta_t}{|\Delta\theta_{10}|} = \frac{0,05}{10} = 0,005, \quad (14)$$

де  $\xi_{\delta\theta_5}$  – коефіцієнт впливу;  $\delta_t$  – значення сумарної систематичної похибки, що складає  $\pm 5\%$ ;  $|\Delta\theta_{10}|$  – модуль заданої зміни температури ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ).

Для розрахунку меж відносної похибки, що зумовлена відхиленням температури, знаходимо  $\delta_{t_5}$  за наступною формулою:

$$\delta_{t_5} = \xi_{\delta\theta_5} \cdot |\Delta\theta_5| = 0,005 \cdot 50 = 0,25. \quad (15)$$

Виконуємо розрахунок величини п'ятої складової сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра–радіометра МКС-05 «ТЕРРА»  $\theta_5$  за наступною формулою:

$$\theta_5 = \delta_{t_5} \cdot \bar{x}_0 = 0,25 \cdot 7,65 = 1,91 \text{ мкбер/годину}, \quad (16)$$

де  $\theta_5$  – п'ята складова сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра–радіометра (мкбер/годину) зумовлена відхиленням температури навколишнього середовища від  $20^\circ\text{C}$ ;  $\delta_{t_5}$  – відносна похибки, що зумовлена відхиленням температури навколишнього середовища від  $20^\circ\text{C}$ ;  $\bar{x}_0$  – оцінка середнього значення нерівно розсіяних рядів вимірів (мкбер/годину).

Визначимо величину сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 за формулою (9):

$$\theta_p = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^R \theta_i^2} = \pm 1,1 \cdot 3,43 = \pm 3,77 \text{ мкбер/годину} \quad (17)$$

Для розрахунку сумарної абсолютної похибки вимірів, знаходимо  $\Delta_p$  за наступною формулою:

$$\Delta_p = \frac{t_p(f_{eff}) \cdot S_{\bar{x}_0} + \theta(P)}{S_{\bar{x}_0} + S_\theta} \cdot S_\Sigma, \quad (18)$$

де  $\Delta_p$  – сумарна абсолютна похибка вимірів (мкбер/годину);  $t_p$  – коефіцієнт Стьюдента (при  $n-1=4$   $t_p=3,2$ ) при 5 вимірах та з довірчою ймовірністю 95%;  $S_{\bar{x}_0}$  – середнє СКВ для усіх груп вимірів ( $\pm 0,0033$  мкбер/годину);  $\theta(P)$  – величина сумарної не виключеної систематичної похибки для усіх груп вимірів ( $\pm 3,77$  мкбер/годину);  $S_\theta$  – середнє СКВ сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра для усіх груп вимірів (мкбер/годину).

Для розрахунку сумарної абсолютної похибки вимірів, знаходимо повне сумарне СКВ  $S_\Sigma$  за наступною формулою:

$$S_\Sigma = \sqrt{S_{\bar{x}_0}^2 + S_\theta^2} = 1,99 \text{ мкбер/годину.} \quad (19)$$

Для розрахунку сумарної абсолютної похибки вимірів, знаходимо середнє СКВ сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра для усіх груп вимірів  $S_\theta$  за наступною формулою:

$$S_\theta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \theta_i^2}{3}} = 1,99 \text{ мкбер/годину,} \quad (20)$$

де  $S_\theta$  – середнє СКВ сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра для усіх груп вимірів (мкбер/годину)  $\theta_i^2$  – сумарна не виключена систематична похибка для окремої групи вимірів.

$$\Delta_p = [(3,2 \cdot 0,0033 + 3,77) / (0,0033 + 1,99)] \cdot 1,99 = \pm 3,78 \text{ мкбер/годину.} \quad (21)$$

Таким чином в результаті лабораторних досліджень ПЕД студенти визначають сумарну абсолютну похибку вимірів  $\Delta_p$ . Оскільки для кожної групи вона буде різною, то перед студентами ставиться задача пошуку причин нерівномірності ПЕД на місцевості.

**Висновки.** Таким чином запропонована методика проведення лабораторних досліджень потужності еквівалентної дози іонізуючого випромінювання на місцевості дозволяє з системних позицій оцінити рівень випромінювання, вивчити походження та величину похибок вимірювань ПЕД. Такий методичний підхід забезпечує стійке засвоєння як методики достовірних вимірювань так і метрологічної трактовки отриманих експериментальних даних.

Розглянуті методичні прийоми щодо вдосконалення лабораторних досліджень можуть бути також корисними при проведенні практичних занять з радіаційної безпеки та оцінки похибок вимірів радіометрів-дозиметрів.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Bek-Uzarov, D., Zekovic, L., Kovacevic, M., Maglic, K., Novkovic, D., & Stankovic, D. (2002). Metrology and standardization. In S. Koicki, N. Konjevic, L. Petrovic, & D. BekUzarov (Eds.), Applied Physics in Serbia (Vol. 104, p. 391–432 ST–Metrology and standardization).
2. Roshani G.H., Nazemi E., Roshani M.M. Application of radial basis function in densitometry of stratified regime of liquid-gas two phase flows. Radiation Measurements, Volume 100, May 2017, Pages 9-17.
3. Основи охорони праці та безпека життєдіяльності: довідник / Авт. кол. О. В. Полярус, О. В. Третяков, С. В. Мінка, О. І. Богатов. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 404 с.
4. Екологічна та радіаційна безпека: довідник / О. В. Полярус, Є.А. Подольська, С. В. Мінка та ін. –Х.: НУА, 2012. – 288 с.
5. Основи охорони праці та екологічна безпека: довідник / О. В. Полярус, Є. А. Подольська, С. В. Мінка та ін. – Х.: ХНАДУ, 2013. – 432 с.
6. Радиация. Дозы, эффекты, риск. – М.: Мир, 1998. – 79 с.
7. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97/Д-2000). Державні гігієнічні нормативи. – К.: Вид-во поліграфії Укр. центру держсанепіднагляду України, 2002. – 151 с.
8. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах. Утв. Председателем Меж-

- ведомственной комиссии по радиационному контролю природной среды при Госкомгидромете СССР, 1989 г. – 25с.
9. Єременко В.Г. Основи дозиметрії та радіаційної безпеки. Навчальний посібник.-Х: ХІТВ, 2006. - 156с.
  10. Васійчук В.О., Гончарук В.Є., Качан С.І., Мохняк С.М. Основи цивільного захисту: Навч. посібник / Львів, 2010.- 384 с.
  11. Коваль А. А. Методика определения уровня наблюдаемости измеренных параметров при аттестации рабочих мест по условиям труда. IV Региональная НПК с международным участием «Безопасность жизнедеятельности: наука, образование, практика», СахГУ. – 2013. – С.132 –135.
  12. Вишневецький О. Л., Попов І. І. Мінка С. В. Шляхи вдосконалення методики вимірювання потужності еквівалентної дози дозиметром МКС-05 «ТЕРРА» при радіометричному контролі поверхні ґрунту Вестник ХНАДУ: сборник научных трудов. – Харьков, 2016. – № 72. – С. 50–57.
  13. JCGM 100:2008 GUM 1995 зі змінами, оцінювання даних вимірювання – Керівництво щодо виразу невизначеності вимірювань (www.bipm.org).
  14. Коваль О. А., Мінка С. В. Шляхи вдосконалення методики вимірювання потужності еквівалентної дози при радіометричному контролі. // Науковий вісник будівництва. - Х.: ХНУБА. – 2017. – Т. 87. - №1 - С. 250-257.
  15. Engelfried J., Cherenkov Light Imaging - Fundamentals and recent Developments, Ceres, 2010. - vol. 639. - no. 2. - pp. 1–6.
  16. Zwierz M., Perez-Delgado C. A., and Kok P., General Optimality of the Heisenberg Limit for Quantum Metrology, Phys. Rev. Lett., 2010. - vol. 105. - no. 18. - p. 4.
  17. Towers C. E., Towers D. P., and Falaggis K., Extended range metrology: an age old problem, Measurement, 2011, vol. 8082. - pp. 1–9.

Рецензент: д-р техн. наук Ю.А. Петренко

УДК 614.843

Хілько Ю.В., Мелешенко Р.Г.

Національний університет цивільного захисту України

### ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВОГНЕГАСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКИДУ ПОРОШКОВИХ СУМІШЕЙ З КОНТЕЙНЕРІВ

**Вступ.** Одним з ефективних методів ліквідації масштабних пожеж на початковій стадії є метання вогнегасних засобів залпом, або пострілом. Для досягнення цієї мети в Україні використовують установки, які реалізовані на серії машин типу «Імпульс-1», «Імпульс-2м», «Імпульс-штурм» які проводять гасіння пожежі пострілом порошкової речовини.

Але головною проблемою таких установок являється малий радіус застосування (номінальний радіус дії - 50 метрів), вони не в змозі забезпечити дальність падіння і необхідну вогнегасну концентрацію порошку в зоні горіння на віддалених відстанях (більше 100 м). Виникають великі труднощі у вирішенні питань доставки і застосування високодисперсних порошкових сумішей, оскільки порошки конвективними

потокami відносяться від осередку пожежі, не проникаючи в полум'я.

**Мета і завдання.** Результати досліджень в області порошкового пожежогасіння [1, 4] показують, що вогнегасна здатність порошків значною мірою залежить від способу їх подавання на осередок пожежі. Таким чином, при застосуванні в контейнерах вогнегасних сумішей і при дослідженні їх вогнегасної ефективності необхідно забезпечити такі умови, при яких уся маса порошкового складу максимально використовуватиметься для припинення горіння. Для цього необхідно визначити найбільш ефективний спосіб подання вогнегасного порошкового складу з контейнера, проаналізувати процес зміни параметрів пожежогасіння.

**Результати досліджень.** Вогнегасна ефективність контейнера з порошковим