

Коваль О. А., Мінка С. В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ДОЗИ ПРИ РАДІОМЕТРИЧНОМУ КОНТРОЛІ

Вступ

Розвиток сучасних технологій у нашій країні ускладнює задачі охорони праці та екологічної безпеки людини. Особливості новітніх технологій потребують постійного удосконалення знань одиниць вимірювання іонізуючої радіації, механізму її дії, систем контролю випромінювань та захисту людини.

Значна кількість АЕС в Україні неминуче призводить до збільшення ядерних об'єктів, що забезпечують їх роботу. Для роботи однієї АЕС необхідно близько десяти додаткових об'єктів [1–3].

У зв'язку з цим, все більша кількість людей піддається і буде піддаватися впливу радіоактивного випромінювання у процесі роботи на атомних об'єктах або внаслідок проживання у районах, де відбувається розповсюдження радіоактивних відходів. [1, 2, 3] Це обумовлює актуальність подальшого підвищення якості та ефективності технічних засобів радіаційного контролю.

Серед небезпечних факторів, що впливають на людину у робочій зоні, іонізуючі випромінювання найбільш небезпечні. Сучасні дослідники виявили, що пряма дія значних поглинених доз радіації, що руйнують генетичний апарат живих організмів, – це тільки одна частина проблеми. Не менш небезпечно руйнування мембран клітини активними іонами кисню, що найбільше виявляються при рівнях радіації, які мало перевищують природний фон [1, 2].

Внаслідок ушкодження клітинних мембран іонізованими молекулами знижується спроможність організму до розпізнавання і знищення вірусів і бактерій, тобто послаблюється імунний захист. Отже, підвищення радіаційного фону або потрапляння в організм невеликих кількостей радіоактивних речовин спричиняє значний руйнівний вплив на імунну систему людини [1–4].

В зонах надзвичайних ситуацій на території України радіаційний контроль здійснюється підрозділами радіаційної, хімічної, біологічної розвідки з використанням штатних технічних засобів радіаційної розвідки та контролю (ТЗРПК) різних типів (радіометри, дозиметри, спектрометри), які позитивно зарекомендували себе у радіаційному моніторингу [7]. Але у ряді випадків, як показав практичний досвід, спостерігались помилкові результати вимірів внаслідок використання приладів у тих умовах, коли ТЗРПК не здатні провести вимірювання певних видів іонізуючих випромінювань (ІВ) та їх параметрів. Це призводило до конфліктних ситуацій, які були пов'язані з неузгодженістю результатів вимірів, проведених приладами різних типів. Крім того, незважаючи на використання стандартизованих ТЗРПК, якісна вимірювальна інформація може бути отримана найчастіше тільки із застосуванням методик вимірів, які враховують специфіку розв'язуваних задач. Усе це, у свою чергу, потребує удосконалення існуючого парку вимірювальної техніки шляхом розробки та створення перспективних технічних засобів радіаційного контролю. 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 радіометричному контролі території.

В Україні для контролю випромінювань та захисту людини розроблена значна кількість дозиметрів, які дозволяють здійснювати радіаційний контроль потужності еквівалентної дози. Водночас при роботі з конкретним приладом, виникає необхідність створення ефективної методики, яка

забезпечить отримання достовірних даних [6–11].

На цій час, чіткої методики визначення потужності еквівалентної дози з урахуванням місцевих умов дослідження у керівництві з експлуатації немає.

Результати досліджень

Дана робота пропонує методику виконання вимірів потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання дозиметром – радіометром МКС-05 «ТЕРРА» при проведенні радіаційного контролю територій.

Методика вимірювання потужності еквівалентної дози дозиметром МКС-05 «ТЕРРА» при радіометричному контролі поверхні ґрунту

В процесі виконання експериментальних досліджень був використований сертифікований дозиметр – радіометр МКС-05 «ТЕРРА» метрологічні характеристики якого повністю відповідають вимогам [5]. Для проведення вимірювань потужності еквівалентної дози була розроблена методика, яка на відміну від відомих [5-7] дозволяє врахувати нестаціонарність вимірюваного процесу і обґрунтувати необхідну мінімальну кількість вимірів:

1. Діапазон виміру потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання від 0,10 мкЗв/ч до 9999 мкЗв/ч.

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

3. Дозиметр має бути повірений.

3.1 При виконанні вимірів ПЕД рекомендується застосовувати саморобну подовжувальну штангу, універсальний штатив і інші допоміжні пристрої для фіксації дозиметра-радіометра в робочому положенні.

4. Вимірювання рівнів ПЕД здійснювалось шляхом реєстрації гамма-квантів газорозрядним лічильником з подальшою обробкою даних швидкості рахунку імпульсів приладом.

5. Умови вимірів. При виконанні вимірювань дотримувались умови, які викладені в керівництві по експлуатації дозиметра - радіометра. Інтервал робочих температур -10°C – $+40^{\circ}\text{C}$, атмосферний тиск 84–106,7 кПа.

6. Підготовка до виконання вимірів.

6.1 Зробити зовнішній огляд приладу відповідно до керівництва по експлуатації: перевірити відсутність видимих механічних ушкоджень, чіткість маркувальних написів, наявність джерела живлення і правильність дотримання полярності "+" і "-" його підключення відповідно до керівництва по експлуатації.

6.2 Включити прилад, короткочасно натиснувши кнопку «Режим» відповідно до керівництва по експлуатації приладу.

7. Виконання вимірів

7.1 Встановити режим проведення виміру відповідно до керівництва по експлуатації дозиметра-радіометра.

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

7.3 При використанні приладів вимірюють швидкість рахунку імпульсів без усереднювання. У разі перевищення поточної швидкості рахунку над встановленим над встановленим порогом спрацьовування відбувається включення сигналізації. Поріг спрацьовування встановлюють залежно від вимірювального завдання. При наближенні до радіоактивного джерела росте частота звукових сигналів.

7.4 При дослідженнях було проведено порівняльну оцінку існуючої методики для дозиметром МКС-05 «ТЕРРА» [6], яка ґрунтується на серії з 5 вимірювань рівня радіаційного фону та пропонуваної (в якій кількість вимірів збільшена до 7). При визначенні ПЕД з фіксованим часом вимірів виконувались виміри в кожній контрольній точці не менше 7 разів, результатами вимірювань є середнє значення ПЕД.

7.5 При обстеженні території вимір ПЕД проводились на висоті 1 м від поверхні [6]. Частиною запропонованої методики є розроблений алгоритм визначення району з найменшим рівнем радіаційного забруднення [11], що дозволило приблизно знайти район з найменшим рівнем радіаційного зараження.

7.6 Далі територія, що досліджувалась, поділялась на квадрати з стороною від 20 м. до 50 м. Зміни потужності дози проводяться на висоті 1 м в місцях, що відповідають кутам сітки.

7.7 При обстеженні у вузлах сітки і на території зони населеного пункту усі виміри потужності доз не перевищували 30 мкбер/годину, то детальне обстеження не проводять. При більш високих значеннях в точці навколо неї в радіусі приблизно 20 м проводились додатково не менше 10 вимірів і по них визначалось середнє значення для цієї точки. У разі виявлення на території населеного пункту значень, на 30% і що більше перевищують 30 мкбер/годину, проводилось детальне обстеження в населеному пункті.

8. Результати вимірів потужності доз заносились у відповідні журнали і наносились на карту або схему населеного пункту. Аномальні значення потужності дози в локальних плямах реєструвались окремо.

9. Обробка результатів вимірів.

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

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

де $ПЕД_{вим}$ - виміряне значення потужності еквівалентної дози або середнє по декількох вимірах, відповідно до вживаної ПЕД, мкЗв/годину; Δ - половина ширини довірчого інтервалу, мкЗв/годину.

9.2 Якщо виміряне значення ПЕД $_{вим}$ менше мінімально вимірюваної для використовуваного приладу величини ($ПЕД_{min}$), результат вимірів представляють у виді

$$ПЕД = ПЕД_{min}, \quad (2)$$

де $ПЕД_{min}$ - нижня межа діапазону вимірів у відповідності з керівництвом по експлуатації приладу.

10. Оформлення результатів. Результатів вимірів реєструють в робочому журналі.

11. Для усунення нестаціонарності вимірюваного процесу отриманий масив виміряних даних зглажують ковзаючим вікном і усувають тренд [10].

Для порівняння вибірок з 5 та 7 вимірами на протязі 100 діб здійснювали дослідження значення потужності еквівалентної дози (ПЕД) у постійній точці 4 [11]. Результати 5 та 7 вимірів на протязі 100

діб у постійній точці 4 [11], з метою аналізу розробленої методики представлені у таблиці 1 та на рис. 1-4. На рис. 1 приведена гістограма розподілу потужності еквівалентної дози. Вимірювальна вибірка складала 5 та 7 вимірів з інтервалом 1 хв. На рис. 2 огинаючи гістограм 1,2,3,4,5,6,7, що відповідають середнім значенням ПЕД по 100 окремим вимірам, мають зміну середнього значення і дисперсії з часом.

Вимірювані процеси які змінюють свої статистичні характеристики з часом є нестаціонарними. Таким чином, ми маємо справу з імпульсним нестаціонарним випромінюванням і цей факт необхідно враховувати при аналізі результатів вимірювань.

Використовуючи дану методику [11], автори пропонують підвищити достовірність вимірювань рівня радіаційного зараження за рахунок врахування нестаціонарності джерела випромінювання та незначного збільшення кількості вимірів. Невизначеність вимірювань еквівалентної дози радіаційного випромінювання розраховують за наступною формулою [12, 13]:

$$s_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2}{n \cdot (n - 1)}}, \quad (3)$$

де s_A - невизначеність вимірювань еквівалентної дози радіаційного випромінювання; s_i - плинне вимірювання еквівалентної дози радіаційного випромінювання; \bar{s} - середнє значення еквівалентної дози; n - кількість вимірів.

Так згідно з існуючою методикою оператор повинен проводити на зараженої місцевості 5 вимірів з інтервалом в одну хвилину. При такій кількості вимірів методологічної оцінки отриманих результатів використовуються лише статистичні методи (оцінка закону розподілу середнього значення, дисперсія). При цьому зовсім не враховується нестаціонарність радіаційного фону, яка обумовлена природою джерела випромінювання. Одним з шляхів усунення нестаціонарності є згладжування. При малої кількості вимірів згладжування результатів вимірювань призведе лише до закруглення вимірів і як наслідок до закруглення границь допусків вимірювань. Усе

це в сукупності призводить до помилкової оцінки рівня радіаційного випромінювання.

Проведені авторами дослідження показали, що при збільшенні кількості вимірів до 10 і згладжуванні ковзаючим трикутним вікном в 3 вимірах, для оцінки межі вимірів вже можна використовувати невисначеність типу А. Такий підхід дозволяє обґрунтувати мінімальну кількість вимірів для забезпечення необхідної точності. Було встановлено, що при для забезпечення точності, при якій основна відносна похибка вимірів не повинна перевищувати 15 %, необхідно більш ніж 10 вимірів.

Слід враховувати, що збільшення кількості вимірів призводить до збільшення часу роботи оператора та збільшення

отриманої їм дози радіації. Тому авторами додатково було досліджено альтернативний варіант – збільшення кількості вимірів з 5 до 7.

Отримані результати значення потужності еквівалентної дози (ПЕД) у постійній точці 4 [11], на протязі 100 діб представлені у табл.1 та на рис. 1-4 свідчать, що при усуненні нестационарності і флуктуації, дисперсія вимірювань становить при $n=5$ $\sigma=0,97$ при $n=7$ $\sigma=0,78$. Тобто флуктуація дисперсії, значить і допусків в вимірювань зменшилась на 19,6%. Середнє арифметичне значення ПЕД (мкбер/год.) за результатами 700 вимірів склало 8,724 мкбер/год.

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

№ вимірювання	Результати 7 вимірювань ПЕД (мкбер/год.)	Середнє арифметичне значення ПЕД (мкбер/год.)	Середнє арифметичне значення та довірчий інтервал ПЕД (мкбер/год.)
1	9,6,7,5,7,9,11	7,7143	7,714±1,906
2	11,9,7,7,10,9,10	9,0	9,0±1,414
3	8,11,8,13,9,8,6	9,0	9,0±2,138
4	8,9,8,6,7,9,7	7,715	7,715±1,030
5	12,1,5,12,8,11,7	9,285	9,285±2,491
6	11,9,8,8,7,8,10	8,714	8,714±1,278
7	6,7,12,6,11,5,12	8,248	8,248±2,872
8	11,9,9,7,9,8,8	8,714	8,714±1,161
9	7,6,10,10,9,9,9	8,571	8,571±1,4
10	7,12,12,8,9,9,6	9,0	9,0±2,138
11	7,10,8,14,9,9,8	9,286	9,286±2,119
12	8,9,7,4,9,9,8	7,715	7,715±1,666
13	9,7,11,8,8,8,10	8,714	8,714±1,278
14	9,7,9,7,8,7,12	8,429	8,429±1,678
15	14,12,8,12,9,8	10,143	10,143±2,295
16	8,8,6,10,8,9,9	8,285	8,285±1,161
17	16,9,11,8,12,7,13	10,857	10,857±2,900
18	9,8,10,13,6,7,10	9,0	9,0±2,138
19	13,10,7,8,8,6,13	9,286	9,286±2,603
20	12,8,9,6,10,8,7	8,571	8,571±1,841
21	8,14,8,5,5,9,11	8,571	8,571±2,970
22	5,10,12,6,8,14,8	9,0	9,0±2,976
23	10,8,12,12,14,10,11	11,0	11,0±1,773
24	13,7,7,12,11,7,14	10,143	10,143±2,850
25	8,9,12,9,14,5,7	9,143	9,143±2,800
26	9,12,12,10,10,7,8	9,714	9,714±1,750
27	5,8,9,5,10,9,7	7,571	7,571±1,841
28	5,5,8,12,8,10,12	8,572	8,572±2,718
29	10,8,7,9,10,6,10	8,571	8,571±1,499
30	10,7,8,9,7,6,9	8,0	8,0±1,310
31	8,6,7,12,10,3,11	8,143	8,143±2,900

№ вимірювання	Результати 7 вимірювань ПЕД (мкбер/год.)	Середнє арифметичне значення ПЕД (мкбер/год.)	Середнє арифметичне значення та довірчий інтервал ПЕД (мкбер/год.)
32	7,9,8,11,7,7,5	7,714	7,714±1,750
33	9,5,9,9,10,8,9	8,428	8,428±1,499
34	7,7,14,10,9,10,6	9,0	9,0±2,507
35	4,11,8,10,9,9,5	8,0	8,0±2,391
36	8,10,10,7,10,9,7	8,714	8,714±1,278
37	12,6,9,4,12,10,11	9,143	9,143±2,850
38	9,9,7,5,6,11,10	8,142	8,142±2,031
39	8,7,10,9,10,7,8	8,429	8,429±1,178
40	7,8,10,10,9,12,9	9,286	9,286±1,485
41	13,4,6,11,7,9,8	8,286	8,286±2,814
42	11,6,9,9,9,6,16	9,429	9,429±3,156
43	8,10,7,7,4,6,8	7,143	7,143±1,726
44	8,7,14,8,9,12,10	9,714	9,714±2,313
45	10,5,10,13,10,14,5	9,571	9,571±3,246
46	9,9,9,7,8,8,10	8,535	8,535±0,904
47	10,8,11,7,9,9,6	8,568	8,568±1,591
48	8,8,6,14,9,7,6	8,289	8,289±2,545
49	7,8,9,7,8,10,7	8,0	8,0±1,069
50	7,7,14,10,6,8,7	8,428	8,428±2,556
51	9,7,6,9,10,8,7	8,0	8,0±1,310
52	9,14,13,8,7,6,6	9,0	9,0±3,024
53	11,8,10,10,12,10,8	9,857	9,857±1,356
54	8,8,85,8,8,9	7,714	7,714±1,161
55	9,5,6,6,10,7,8	7,209	7,209±1,666
56	8,9,7,10,5,8,10	8,143	8,143±1,642
57	10,7,10,11,12,9,7	9,428	9,428±1,762
58	7,10,14,6,5,6,9	8,143	8,143±2,900
59	5,4,7,10,5,16,9	8,0	8,0±3,855
60	7,12,8,10,12,7,10	9,429	9,429±1,990
61	13,9,10,14,9,8,8	10,143	10,143±2,232
62	8,6,13,10,10,12,8	9,572	9,572±2,259
63	7,9,12,8,10,11,7	9,143	9,143±1,807
64	9,9,8,9,9,8,7	8,428	8,428±0,729
65	6,10,10,7,9,12,9	9,0	9,0±1,852
66	9,7,6,7,9,12,8	8,285	8,285±1,830
67	8,13,11,9,5,7,10	9,0	9,0±2,450
68	8,9,6,9,9,8,11	8,571	8,571±1,400
69	8,7,6,8,12,9,10	8,571	8,571±1,841
70	9,4,10,8,9,12,8	8,571	8,571±2,259
71	13,10,8,10,6,11,16	10,572	10,572±3,017
72	9,13,8,9,6,8,11	9,143	9,143±2,100
73	6,8,11,9,8,10,9	8,714	8,714±1,485
74	10,9,10,9,10,9,10	9,571	9,571±0,495
75	11,8,13,7,7,4,7	8,143	8,143±2,748
76	13,6,10,12,7,6,14	9,714	9,714±3,150
77	5,10,11,9,8,9,9	8,714	8,714±1,750
78	6,13,11,12,7,7,12	9,715	9,715±2,711
79	12,8,4,8,7,7,9	7,857	7,857±2,232
80	9,7,12,7,10,8,8	8,714	8,714±1,666
81	9,9,9,6,9,7,9	8,286	8,286±1,161
82	7,7,8,7,8,9,13	8,429	8,429±1,990
83	9,7,9,9,9,6,7	8,0	8,0±1,195

№ вимірювання	Результати 7 вимірювань ПЕД (мкбер/год.)	Середнє арифметичне значення ПЕД (мкбер/год.)	Середнє арифметичне значення та довірчий інтервал ПЕД (мкбер/год.)
84	11,5,5,8,12,9,10	8,571	8,571±2,556
85	8,7,11,10,8,9,8	8,714	8,714±1,278
86	7,9,4,10,8,7,6	7,286	7,286±1,830
87	14,7,10,5,5,12,9	8,857	8,857±3,182
88	7,5,10,9,8,5,10	7,714	7,714±1,980
89	8,8,10,9,14,8,9	9,429	9,429±1,990
90	7,13,5,8,9,6,4	7,429	7,429±2,771
91	9,8,7,9,11,11,12	9,571	9,571±1,678
92	12,7,11,10,7,8,9	9,143	9,143±1,807
93	6,12,6,7,9,12,8	8,571	8,571±2,382
94	11,7,13,8,6,8,9	8,857	8,857±2,232
95	7,9,11,7,10,15,9	9,714	9,714±2,548
96	5,12,7,8,6,11,8	8,143	8,143±2,356
97	10,12,9,7,8,9,3	8,286	8,286±2,603
98	13,6,8,6,8,6,8	7,857	7,857±2,295
99	8,12,9,6,11,13,10	9,857	9,857±2,232
100	10,7,7,8,8,9,6	7,857	7,857±1,245

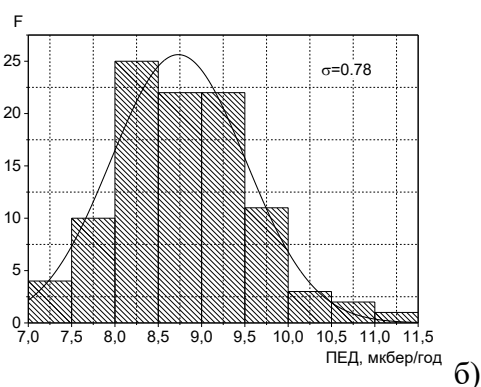
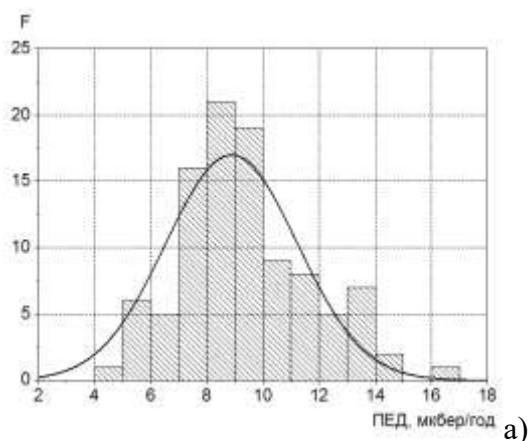


Рис. 1. Гістограма розподілу потужності еквівалентної дози в точці при 5 (а) та при 7 (б) вимірах

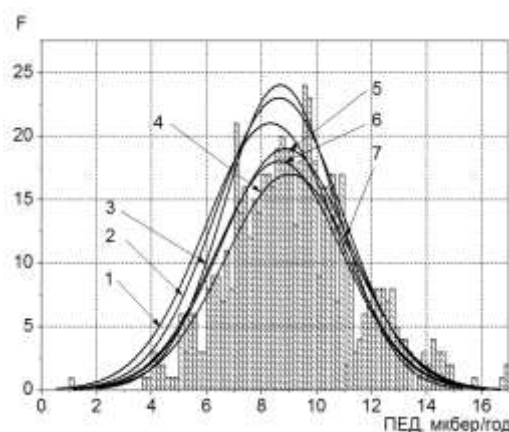


Рис. 2. Гістограма розподілу потужності еквівалентної дози при 5 вимірах у контрольній точці 4 на протязі 100 діб

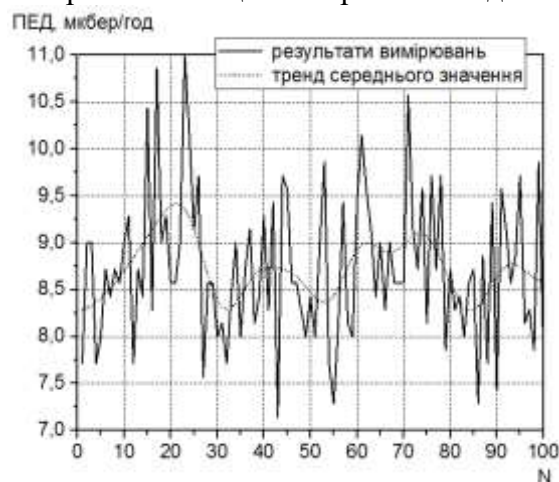


Рис. 3. Результати вимірювань та тренд середнього значення потужності еквівалентної дози при 5 вимірах у контрольній точці 4 на протязі 100 діб

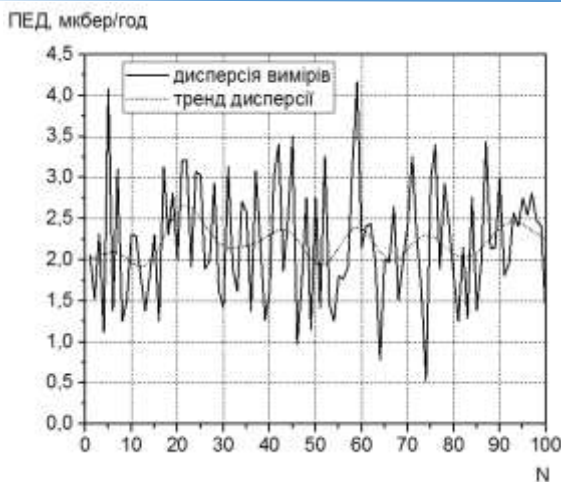


Рис. 4. Дисперсія вимірювань потужності еквівалентної дози та її тренд при 7 вимірах у контрольній точці 4 на протязі 100 діб

Висновки

Таким чином, в результаті проведених досліджень було встановлено, що для забезпечення точності, при якій основна відносна похибка вимірювань не повинна перевищувати 15 % при кількості вимірів не менше 10.

Авторами додатково було досліджено альтернативний варіант – збільшення кількості вимірів з 5 до 7. Отримані результати свідчать, що при усуненні нестационарності і флуктуацій дисперсія вимірювань становить при $n = 5$ $\sigma = 0,97$ при $n = 7$ $\sigma = 0,78$. Тобто флуктуація дисперсії, значить і допусків вимірювань зменшилась на 19,6%.

Отримані результати можуть бути корисними при обґрунтуванні методик оцінки радіаційного фону.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Цыганков А. П. Химия окружающей среды. – М.: Химия, 1982. - 672с.
2. Екологічна та радіаційна безпека: довідник / О.В. Полярус, Є.А. Подольська, С.В. Мінка та ін. – Харків: НУА, 2012. – 288 с.

3. Основи охорони праці та екологічна безпека: довідник / О. В. Полярус, Є. А. Подольська, С. В. Мінка та ін. – Харків: ХНАДУ, 2013. – 432 с.
4. Радиация. Дозы, эффекты, риск. – М.: Мир, 1998. – 79 с.
5. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97/Д-2000). Державні гігієнічні нормативи. – К.: Вид-во поліграфії Укр. центру держсанепіднагляду України, 2002. – 151 с.
6. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах. Утв. Председателем Межведомственной комиссии по радиационному контролю природной среды при Госкомгидромете СССР, 1989. – 25с.
7. Сременко В.Г. Основи дозиметрії та радіаційної безпеки. Навчальний посібник. - Х:ХІТВ, 2006. - 156с.
8. Горский В.Г., Бродский В.З. Симплексный метод планирования экстремальных экспериментов. // «Заводская лаборатория», 1965. - №7. - 831-836.
9. Семенов С.А. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – Москва, 2001.
10. 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.
11. Вишневецкий О.Л., Попов І.І. Мінка С. В. Шляхи вдосконалення методики вимірювання потужності еквівалентної дози дозиметром МКС-05 «ТЕРРА» при радіометричному контролю поверхні ґрунту Вестник ХНАДУ : сборник научных трудов. – Харьков, 2016. – № 72. – С. 50–57.
12. JCGM 100:2008 GUM 1995 зі змінами, оцінювання даних вимірювання – Керівництво щодо виразу невизначенності вимірювань. [Електронний ресурс]. Режим доступу: (www.bipm.org).
13. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях: [учеб. пособие] / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Харьков, Консум, 2002–256 с.