

Коваль О. А., Мінка С. В., Коваль А. О.

Харківській національній автомобільно-дорожній університет.

(вул. Ярослава Мудрого 25, Харків, 61002, Україна; e-mail: [newway1405@ukr.net](mailto:newway1405@ukr.net); [koval\\_al@ukr.net](mailto:koval_al@ukr.net); [orcid.org/0000-0001-6819-6423](http://orcid.org/0000-0001-6819-6423); [orcid.org/0000-0002-5952-8139](http://orcid.org/0000-0002-5952-8139); [orcid.org/0000-0001-5690-2749](http://orcid.org/0000-0001-5690-2749) )

## ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ПОПЕРЕДНЬОГО РАДІОМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ ВІДБОРІ ПРОБ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ДОЗИМЕТРОМ-РАДІОМЕТРОМ МКС-05 «ТЕРРА»

Одним з головних наукових напрямів дисципліни «Цивільний захист» є вдосконалення приладів та методик вимірювання потужності еквівалентної дози, а також радіометричного контролю продуктів харчування. Задача радіометричного контролю ускладнюється внаслідок значного різноманіття продуктів харчування, які постійно необхідні людині. Кожен з продуктів харчування повинен мати відповідну методику радіаційного контролю. Метою даного дослідження є вивчення алгоритму попереднього радіометричного контролю при відборі проб хлібобулочних виробів дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА». В роботі запропоновано алгоритм попереднього радіометричного контролю при відборі проб харчових продуктів шляхом виконання вимірів потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА». Даний алгоритм на відміну від відомих дозволяє оцінити всі складові сумарної абсолютної похибки вимірів.

**Ключові слова:** алгоритм, радіометричний контроль, радіонукліди, дозиметр-радіометр, продукти харчування, потужність еквівалентної дози.

**Вступ.** Військові конфлікти, екологічна криза сучасності та особливості новітніх технологій потребують постійного вдосконалення знань одиниць вимірювання, механізму дії та систем захисту людини від іонізуючих випромінювань [1-5]. Для вирішення цього завдання в Україні існує багато способів. Одним з них є створення та функціонування в нашій країні служби цивільного захисту.

Цивільний захист – це функція держави, спрямована на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період [1-5].

Для підготовки майбутніх спеціалістів до дій у надзвичайних ситуацій у вищих навчальних закладах України студенти вивчають дисципліну «Цивільний захист». Одною головних задач цієї дисципліни дати можливість студентам оволодіти сучасними практично діючими технологіями захисту людини та довкілля.

Отримані знання з дисципліни «Цивільний захист» повинні сформувані у студентів здатності творчо мислити й

приймати практичні рішення при дії в надзвичайних ситуаціях мірного та військового часу з урахуванням особливостей майбутньої професійної діяльності випускників [6-8, 11, 12, 16-19].

Одним з головних наукових напрямів дисципліни «Цивільний захист» є оцінка та виявлення радіаційної обстановки, складовою частиною якої є радіометричний контроль продуктів харчування [9- 16]. Задача радіометричного контролю ускладнюється внаслідок значного різноманіття продуктів харчування, які постійно необхідні людині. Кожен з продуктів харчування повинен мати відповідну методику радіаційного контролю. В Україні методики радіаційного контролю продуктів харчування базуються на дослідженні вмісту радіонуклідів  $Cs^{137}$  та  $Sr^{90}$ , які проводяться у спеціально обладнаних та ліцензованих лабораторіях [7, 10]. Для проведення вимірювань питомих активностей радіонуклідів  $Cs^{137}$  та  $Sr^{90}$  у харчових продуктах та питній воді допускаються метрологічно атестовані методики виконання вимірювань, що відповідають вимогам забезпечення єдності вимірювань, чинних в Україні ДСТУ, та забезпечують достовірність вимірювань питомих

активностей [7, 10]. При вимірюванні  $Cs^{137}$  рекомендується використовувати сцинтиляційні і напівпровідникові гамма-спектрометри з блоками детектування у свинцевому захисті [7, 10]. Для вимірювання активності  $Sr^{90}$  рекомендуються бета-спектрометри, які характеризуються значенням мінімальної вимірюваної активності 0,5-1,5 Бк/пробу [7, 10].

При проведенні занять з дисципліни «Цивільний захист» студентів варто навчити користуватись не тільки одиницям вимірювання іонізуючих випромінювань, но також надати їм практичних навичок роботи с сучасними дозиметрами-радіометрами.

Для ефективного виконання навчальних задач по оцінці та виявленню радіаційної обстановки доцільно розробити відповідний алгоритм попереднього радіометричного контролю при відборі проб харчових продуктів конкретним дозиметром-радіометром.

Лабораторні дослідження харчових продуктів для оцінки їх радіаційної безпеки виконуються з метою державного моніторингу, планового контролю та нагляду, а також при здійсненні державної санітарно-епідеміологічної експертизи імпортованої та вітчизняної харчової продукції, атестованими в установленому порядку лабораторіями державної санітарно-епідеміологічної служби України [6- 10].

Відповідно до вимог Закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» [6-16] вміст радіонуклідів у продуктах харчування, продовольчій сировині та питній воді не повинен перевищувати затверджених в установленому порядку допустимих рівнів [10].

У зонах надзвичайних ситуацій на території України радіаційний контроль здійснюється підрозділами радіаційної, хімічної, біологічної розвідки з використанням штатних технічних засобів радіаційної розвідки та контролю різних типів (радіометри, дозиметри, спектрометри), які позитивно зарекомендували себе у радіаційному моніторингу [1-5]. Водночас при роботі з конкретним приладом виникає необхідність створення ефективного

алгоритму, який забезпечить отримання достовірних даних [6-10].

У керівництві з експлуатації сучасних дозиметрів вказані їх технічні характеристики, устрій, методика підготовки їх до роботи, порядок роботи з дозиметром і рекомендації по його технічному обслуговуванню, однак чіткого алгоритму визначення потужності еквівалентної дози з урахуванням особливосте відбору проб харчових продуктів у керівництві з експлуатації немає, тому її необхідно його розробити[6-8].

В Україні для радіаційного контролю випромінювань розроблена значна кількість дозиметрів. Одним з сучасних дозиметрів, розроблених в Україні та здатним вимірювати потужності еквівалентної дози, є дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА».

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою даного дослідження є вивчення алгоритму попереднього радіометричного контролю при відборі проб харчових продуктів дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА» при проведенні занять з дисципліни «Цивільний захист». Для розробки алгоритму вимірювання потужності еквівалентної дози при відборі проб харчових продуктів треба визначити порядок відбору проб, кількість вимірів у кожній точці та порядок розрахунку систематичної та випадкової похибок. В якості об'єкта дослідження в даній роботі розглянуті хлібобулочні вироби.

**Матеріали і методи досліджень.** В роботах [11,12] автори почали роботу з розробки складових частин практичних занять з дисципліни «Цивільний захист», які пропонують алгоритм виконання вимірів потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА» при проведенні радіаційного контролю територій.

В процесі виконання експериментальних досліджень використовували сертифікований дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА» метрологічні характеристики якого повністю відповідають вимогам [9, 10].

Радіаційний контроль харчових продуктів в Україні здійснюється відповідно до вимог нормативних документів [7-10].

Серед них Наказ №446 від 11. 08. 2008 Міністерство охорони здоров'я України затверджує методичні вказівки з «Відбору проб первинної обробки та визначенні вмісту  $Cs^{137}$  та  $Sr^{90}$  в продуктах харчування» [10].

Вказані методичні вказівки [10] поширюються на проведення радіаційно-гігієнічних досліджень з метою оцінки показників безпеки продуктів харчування та харчової сировини методичні вказівки визначають вимоги до відбору та первинної обробки проб з метою оцінки відповідності продуктів харчування і харчової сировини нормам радіаційної безпеки. Методичні вказівки встановлюють ряд визначень що необхідні для проведення радіаційного контролю, які наведені нижче. Радіаційний контроль – радіаційні виміри (дослідження), що виконуються для визначення ступеня дотримання радіаційної безпеки і вимог чинних нормативів [10]. Проба – кількість не поштучної продукції, відібрана з контрольованої сукупності для прийняття рішення [10]. Партія – надійно ідентифікована кількість однорідного харчового продукту одного найменування, розфасованого в однорідну тару, призначеного до одноразової здачі, відвантаження, чи продажу [10]. Одиниця продукції – визначена у встановленому порядку кількість штучної чи нештучної продукції (маса продукції в бочці, ящику, банці, флязі, цистерні та іншій тарі) [10].

Для попереднього радіометричного контролю при відборі проб харчових продуктів дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА» в даній роботі пропонується методика, яка включає наступні етапи [10]:

- відбір проб;
- вимір ПЕД кожної проби;
- розрахунок результатів вимірювання та похибок дослідження;
- подальша передача зразків у ліцензований дослідницький центр, який проводить вимірювання активності  $Cs^{137}$  та  $Sr^{90}$  в них та приймає рішення про гігієнічну оцінку радіаційної безпеки продуктів харчування.

Першим етапом радіаційного контролю харчових продуктів є відбір проб, який при оптимальних витратах часу та коштів має найбільш об'єктивно забезпечити радіаційну характеристику досліджуваної партії продуктів харчування [7- 10].

При відборі проб необхідно провести дозиметричний контроль потужності дози гамма-випромінювання. У випадку перевищення фонового рівня результати радіаційного контролю відображаються в акті відбору проб [7-10].

Порядок відбору проб харчових продуктів за радіаційним фактором включає: визначення числа середніх проб, відбір точкових проб, формування з них об'єднаної проби і відбір з неї середньої проби, яка й підлягає лабораторному дослідженню [7- 10].

Норми відбору проб штучних продуктів (хліб, яйця, консерви, соки й ін.) згідно [7-10] – 1% від загальної кількості партії, но не менше 5 шт.

При відборі проб штучних продуктів (консерви, концентрати, соління, та ін.), води в пляшках, продуктів, розфасованих у споживчу тару (круп, борошно, макаронні вироби, кондитерські вироби, чай та ін.) і не запакованих у споживчу тару (хліб, булочки і здобні вироби), одиниці штучних продуктів є точковими пробами [7-10].

Хліб, булочки і здобні вироби, що не запаковані в споживчу тару, відбирають від партії (з лотків, із ящик, мішків та ін.) як штучні продукти згідно [7-10].

При попередньому радіометричному контролі харчових продуктів доцільно користуватись дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА», що має діапазон виміру потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА» від 0,10 мкЗв/ч до 9999 мкЗв/ч. Дозиметр має бути повірений.

При виконанні вимірів ПЕД рекомендується допоміжні пристрої для фіксації дозиметра-радіометра в робочому положенні на відстані 1 см над поверхнею зразків, що досліджуються.

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

При виконанні вимірювань дотримувались умови, які викладені в керівництві по експлуатації дозиметра-радіометра. Інтервал робочих температур від 10°C до +40°C, атмосферний тиск від 84 кПа до 106,7 кПа.

Підготовка до виконання вимірів ПЕД:

- 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;
- включити прилад, короткочасно натиснувши кнопку «Режим» відповідно до керівництва по експлуатації приладу.

Виконання вимірів ПЕД:

- встановити режим проведення вимірювань відповідно до керівництва по експлуатації дозиметра-радіометра;
- дозиметр розташовують горизонтально, при цьому центр детектора (позначений спеціальною міткою) має бути спрямований вниз на відстані 1 см над поверхнею зразків, що досліджуються..
- при використанні дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА» він вимірює 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.
- при дослідженнях ПЕД виконують серію з 7 вимірів рівня радіації кожної проби продуктів харчування.

Результатами вимірювань є середнє значення ПЕД.

Результати вимірів потужності доз заносились у відповідні журнали.

При проведенні досліджень попереднього радіометричного контролю при відборі проб харчових продуктів дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА», необхідно розробити алгоритм обробки отриманих результатів вимірювань, враховуючи при цьому характер вимірюваного фізичного процесу та систематичні і випадкові похибки вимірювань. Аналіз результатів, що отримані при проведенні вимірів ПЕД необхідно починати з визначення випадкової похибки нерівно розсіяних рівно точних вимірів отриманих за допомогою дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА».

Результатом вимірювань є ПЕД, виражена в мкЗв/год, що знаходиться в інтервалі з довірчою вірогідністю  $P=0,95$ . 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/год;  $\Delta$  – половина ширини довірчого інтервалу, мкЗв/год.

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 вимірювань у відповідності з керівництвом по експлуатації приладу.

Результати вимірювань реєструють в робочому журналі. У випадку необхідності, у подальшому кожен пробу позначають етикеткою, на якій вказують номер і назву проби, дату і місце відбору, її масу, потужність дози гамма-випромінювання від партії і гамма-фон в приміщенні, де зберігаються продукти; у випадку висушування вказують масу сирової і висушеної проби. Етикетку (опис) загортають у целофан (поліетилен) і запаковують разом із пробую [10].



Запаковані зразки проб поміщають у спеціально пристосований ящик, перекладають папером чи ватою таким чином, щоб забезпечити цілісність матеріалу, що відправляється. Ящик запечатують. На відібрані проби складають супровідний документ (акт відбору проб) в 2-х екземплярах. Один екземпляр акта й опис проб пакують разом із пробами, що направляються на дослідження. Другий екземпляр акта залишають в навчальному закладі, де проводиться відбір проб. У лабораторії, де проводять дослідження, отримані проби реєструються в спеціальному журналі [7- 10].

У спеціально обладнаних та ліцензованих лабораторіях, де проводять дослідження вмісту радіонуклідів  $Cs^{137}$  та  $Sr^{90}$ , з точкових проб формують об'єднану пробу, з якої після ретельного перемішування відбирають середню пробу. Маса середньої проби хлібобулочних виробів

повинна бути не менше 1,0 кг (л) [7-10, 16-19].

**Результати досліджень.** В даній роботі автори досліджували алгоритм попереднього радіометричного контролю на прикладі контролю проб хлібобулочних виробів. Контролюється 5 хлібних батонів вагою 400 гр кожний за допомогою дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА». Результати вимірювань за алгоритмом, що пропонується наведені у таблиці 1.

За прийнятою надійністю результатів вимірювання ( $P=0,95$ ) та при 7 результатах вимірювання, коефіцієнт Стьюдента склав 2,45 [13-14].

При тестуванні запропонованого алгоритму на прикладі вимірних даних для першої проби був проведений детальний аналіз оцінки похибок вимірювання середнього значення ПЕД. Оскільки результуюча похибка вимірювань містить як відносну похибку вимірювань так і систематичну похибку приладу МКС-05 «ТЕРРА».

Таблиця 1 - Вимірне значення потужності еквівалентної дози (ПЕД) при попередньому радіометричному контролі

| № точкової проби                                | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Результати вимірювань ПЕД (мкбер/год)           | 9         | 9         | 9         | 7         | 9         |
|   | 6         | 7         | 9         | 10        | 8         |
|   | 6         | 6         | 5         | 9         | 9         |
|   | 10        | 5         | 8         | 6         | 8         |
|   | 8         | 16        | 7         | 8         | 12        |
|   | 7         | 8         | 5         | 6         | 10        |
|   | 8         | 10        | 8         | 4         | 6         |
| Середнє арифметичне значення (мкбер/год)        | 7,71      | 8,71      | 7,28      | 7,14      | 8,85      |
| Середньо-квадратична похибка (мкбер/год)        | 1,49      | 3,63      | 1,70      | 2,0       | 1,86      |
| Середньо-квадратичне відхилення (мкбер/год)     | 0,56      | 1,37      | 0,64      | 0,76      | 0,70      |
| Половина ширини довірчого інтервалу (мкбер/год) | 1,39      | 3,37      | 1,57      | 1,88      | 1,72      |
| Довірчий інтервал (мкбер/год)                   | 7,71±1,39 | 8,71±3,37 | 7,29±1,57 | 7,14±1,88 | 8,86±1,72 |

При проведенні досліджень ПЕД необхідно акцентувати увагу на тому що для визначення величини сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА» слід врахувати всі складові сумарної не виключеної систематичної похибки для усіх груп вимірів  $\theta_p$  [4,7,23,25]:

$$\theta_p = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^R \theta_i^2}, \quad (3)$$

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

При проведенні досліджень ПЕД необхідно акцентувати увагу на тому що для визначення величини сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА» слід врахувати всі складові сумарної не виключеної систематичної похибки для усіх груп вимірів  $\theta_p$  [4,7,23,25]:

$$\theta_p = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^2}, \quad (4)$$

де  $\theta_p$  – величина сумарної не виключеної систематичної похибки для усіх груп вимірів (мкбер/год);  $k=1,1$  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 0,05МеВ 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 [4,7,23,25]:

$$\theta_1 = \delta_1 \cdot \bar{x}_0 = 0,25 \cdot 7,71 = 1,93 \text{ мкбер/год}, \quad (4)$$

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

При визначенні 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 [4,7,23,25]:

$$\theta_2 = \delta_2 \cdot \bar{x}_0 = 0,068 \cdot 7,71 = 0,52 \text{ мкбер/годину}, (5)$$

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

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 паспорта 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 [4,7,23,25]:

$$\theta_3 = \delta_3 \cdot \bar{x}_0 = 0,25 \cdot 7,71 = 1,93 \quad (6)$$

де  $\theta_3$  – третя складова сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА» (мкбер/год);  $\delta_3$  – 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 [4,7,23,25]:

$$\theta_4 = \delta_4 \cdot \bar{x}_0 = 0,1 \cdot 7,71 = 0,771 \quad (7)$$

де  $\theta_4$  – четверта складова сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 (мкбер/год);  $\delta_4$  – 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/год).

Для визначення величини п'ятої складової сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА» слід врахувати те, 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  $20^\circ\text{C}$ .

$$|\Delta\theta_5| = [(+40 - 20)] + [20 - (-10)] = 50^\circ\text{C}. \quad (8)$$

Для розрахунку меж відносної похибки, що зумовлена відхиленням температури, знаходимо коефіцієнт впливу  $\xi_{\delta\theta_5}$  за наступною формулою [4, 7, 23, 25]:

$$\xi_{\delta\theta_5} = \frac{\delta_t}{|\Delta\theta_{10}|} = \frac{0,05}{10} = 0,005, \quad (9)$$

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 [4, 7, 23, 25]:

$$\delta_{t_5} = \xi_{\delta\theta_5} \cdot |\Delta\theta_5| = 0,005 \cdot 50 = 0,25. \quad (10)$$

Виконуємо розрахунок величини п'ятої складової сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА»  $\theta_5$  за наступною формулою [4, 7, 23, 25]:

$$\theta_5 = \delta_{t_5} \cdot \bar{x}_0 = 0,25 \cdot 7,71 = 1,93 \quad (11)$$

де  $\theta_5$  – п'ята складова сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра-радіометра (мкбер/год) 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 «ТЕРРА» за формулою [4, 7, 23, 25]:

$$\theta_p = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^R \theta_i^2} = \pm 1,1 \cdot 3,47 = \pm 3,817 \text{ мкбер/год}, \quad (12)$$

Для розрахунку сумарної абсолютної похибки вимірів, знаходимо середнє СКВ сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра для усіх груп вимірів  $S_\theta$  за наступною формулою [4, 7, 23, 25]:

$$S_\theta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \theta_i^2}{3}} = 2 \text{ мкбер/год} \quad (13)$$

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

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

$$\Delta_p = \frac{t_p \cdot S_{\bar{x}_0} + \theta(P)}{S_{\bar{x}_0} + S_\theta} \cdot S_\Sigma, \quad (14)$$

де  $\Delta_p$  – сумарна абсолютна похибка вимірів (мкбер/год);  $t_p$  – коефіцієнт Стьюдента ( $t_{p=2,45}$ ) при 7 вимірах та з довірчою ймовірністю 95%;  $S_{\bar{x}_0}$  – середнє СКВ для першої групи вимірів ( $\pm 0,56$  мкбер/год);  $\theta(P)$  – величина сумарної не виключеної систематичної похибки для першої групи вимірів ( $\pm 1,39$  мкбер/год);  $S_\theta$  – середнє СКВ сумарної не виключеної систематичної похибки дозиметра для першої групи вимірів (мкбер/год);  $S_\Sigma$  – сумарна абсолютна похибка вимірів.

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

$$S_\Sigma = \sqrt{S_{\bar{x}_0}^2 + S_\theta^2} = 2,08 \text{ мкбер/год}, \quad (15)$$

$$\Delta_p = [(2,45 \cdot 0,56 + 1,39) / (0,56 + 2)] \cdot 2,08 = \pm 2,24 \text{ мкбер/год}.$$

**Обговорення результатів.** Таким чином, тестування алгоритму попереднього радіометричного контролю одної проби хлібобулочних виробів показало,

що сумарна абсолютна похибка вимірів потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА» склало  $\pm 2,24$  мкбер/год (29% від середнього значення ПЕД першої проби).

**Висновки.** В роботі запропоновано алгоритм попереднього радіометричного контролю при відборі проб харчових продуктів шляхом виконання вимірів потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання дозиметром-радіометром МКС-05 «ТЕРРА». Даний алгоритм на відміну від відомих дозволяє оцінити всі складові сумарної абсолютної похибки вимірів. Це дозволяє проводити всебічні дослідження існуючих методів та методик попереднього радіометричного контролю при відборі проб харчових продуктів на практичних та лабораторних заняттях навчальної дисципліни «Цивільний захист».

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ольгінський О.Г., Мінка С.В., Третьяков О.В., Попов І.І. Крайнюк О. В. Екологічна та радіаційна безпека: довідник. Харків: Вид-во НУА, 2003. 275 с.
2. Полярус О.В., Подольська Є.А., Мінка С.В., Богатов О.І., Подольська Т.В. Екологічна та радіаційна безпека: довідник. Харків: НУА, 2012. 288 с.
3. Полярус О.В., Подольська Є.А., Мінка С.В., Богатов О.І., Подольська Т.В. Основи охорони праці та екологічна безпека: довідник. Харків: Вид-во НУА, 2013. 432 с.
4. Полярус О.В., Третьяков О.В., Мінка С.В., Богатов О.І. Основи охорони праці та безпека життєдіяльності: довідник. Харків: ХНАДУ, 2015. 404 с.
5. Полярус О.В., Мінка С.В., Богатов О.І. Цивільний захист та безпека життєдіяльності: довідник. Харків: ХНАДУ, 2017. 400 с.
6. Радиация. Дозы, эффекты, риск. Москва: Мир, 1998. 79 с.
7. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97/Д-2000). Державні гігієнічні нормативи. Київ: Вид-во поліграфії Укр. центру держсанепіднагляду України, 2002. 151 с.
8. Єременко В.Г. Основи дозиметрії та радіаційної безпеки. Навчальний посібник. Харків: ХІТВ, 2006. 156с.
9. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах. Утв. Председателем Межведомственной комиссии по радиационному контролю природной среды при Госкомгидромете СССР, 1989 г. 25 с.
10. Наказ №446 Міністерство охорони здоров'я України Про затвердження методичних вказівок з «Відбору проб первинної обробки та визначення вмісту Cs<sup>137</sup> та Sr<sup>90</sup> в продуктах харчування», 2008. 45с.
11. Коваль О. А., Мінка С. В. Шляхи вдосконалення методики вимірювання потужності еквівалентної дози при радіометричному контролі. *Науковий вісник будівництва*. 2017. Вип.1. С. 250–257.
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. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: Львів: НУ «Львівська політехніка», 2005. Т.1. Основи метрології. 532 с.
14. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2005. Т.2 Вимірювальна техніка. 656 с.
15. Цыганков А. П. Химия окружающей среды. Москва.: Химия, 1982. 672 с.
16. Abreu, T., Bragança, M., Berson, D. M., Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greenson, J. M., Garbarino, S. (2015). Definition and measurement of circadian radiometric quantities. *Journal of Affective Disorders*. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(03\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(03)00130-9).
17. Friedl, M. A., Davis, F. W. (1994). Sources of variation in radiometric surface temperature over a tallgrass prairie. *Remote Sensing of Environment*. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90109-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90109-0).
18. Hollandt, J., Hartmann, J., Struß, O., & Gärtner, R. (2010). *Radiometric Temperature Measurements: II. Applications. Experimental Methods in the Physical Sciences*. [doi.org/10.1016/S1079-4042\(09\)04301-X](https://doi.org/10.1016/S1079-4042(09)04301-X).
19. Organelli, E., Claustre, H., Bricaud, A., Schmechtig, C., Poteau, A., Xing, X., Vellucci, V. (2016). A novel near-real-time quality-control procedure for radiometric profiles measured by bio-argo floats:



**Koval O., Minka S., Koval A. WAYS TO IMPROVE THE ALGORITHM OF PREVIOUS RADIOMETRIC CONTROL IN THE SELECTION OF FOOD PRODUCTS WITH THE DOSIMETER-RADIOMETRER MKS-05 «TERRA».** One of the main scientific areas of the discipline «Civil Protection» is the improvement of devices and methods of measuring the equivalent dose rate, as well as radiometric control of food products. The task of radiometric control is complicated by the large variety of foodstuffs that are constantly needed by humans. Each food must have an appropriate radiation control technique. The purpose of this study is to study the algorithm of the previous radiometric control in the selection of samples of bakery products by the dosimeter-radiometer MKS-05 «TERRA». The paper proposes an algorithm for preliminary radiometric control in the selection of food products by performing measurements of the equivalent dose rate (EDR) of gamma radiation with the TERRA dosimeter-radiometer MKS-05. This algorithm, in contrast to the known, allows us to estimate all components of the total absolute measurement error.

**Keywords:** algorithm, radiometric control, radionuclides, dosimeter-radiometer, food, power equivalent dose.

**Коваль О. А., Минка С. В., Коваль А. А. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АЛГОРИТМА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО ПРИ ОТБОРЕ ПРОБ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР МКС-05 «ТЕРРА».** Одним из главных научных направлений дисциплины «Гражданская оборона» является совершенствование приборов и методик измерения мощности эквивалентной дозы, а также радиометрического контроля продуктов питания. Задача радиометрического контроля усложняется вследствие значительного разнообразия продуктов питания, которые постоянно необходимы человеку. Каждый из продуктов питания должен иметь соответствующую методику радиационного контроля. Целью данного исследования является изучение алгоритма предварительного радиометрического контроля при отборе проб хлебобулочных изделий дозиметром-радиометром МКС-05 «ТЕРРА». В работе предложен алгоритм предварительного радиометрического контроля при отборе проб пищевых продуктов путем выполнения измерений мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения дозиметром-радиометром МКС-05 «ТЕРРА». Данный алгоритм в отличие от известных позволяет оценить все составляющие суммарной абсолютной погрешности измерений.

**Ключевые слова:** алгоритм, радиометрический контроль, радионуклиды, дозиметр-радиометр, продукты питания, мощность эквивалентной дозы.