

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ХАРАКТЕРИСТИК ГАММА – ВИПРОМІНЕННЯ В УКРАЇНІ

*Яцишин С.П., д.т.н. проф., Лазаренко С.Л., аспірант, Лазаренко Н.С., аспірант
Національний університет «Львівська політехніка», Україна
e-mail: slav.yat@gmail.com*

Анотація

Для реалізації Програми інтеграції України в Європейський Союз необхідна гармонізація українських і міжнародних стандартів, в тому числі і в області метрологічного забезпечення засобів вимірювання характеристик іонізуючого випромінювання. За останні роки в світі з'явилося чимало нормативних, методичних документів та матеріалів, які відносяться до сфери дозиметричних вимірювань характеристик гамма-випромінювання в області радіаційної безпеки, променевої діагностики та терапії. Розвиваються діагностичні установи для контролю контейнерів на пошті та в аеропортах. Останні будуються на використанні кобальтових та цезієвих джерел випромінювання, які, у свою чергу, вимагають розвитку належного метрологічного забезпечення. Усе викладене поєднується з відомим негативним чинником, що стримує розвиток і полягає у негативних факторах дії зазначених випромінювань на організм людини.

У статті обговорено особливості конструювання та використання устав метрологічного забезпечення, необхідних для калібрування дозиметрів гамма-випромінювання. Для цього досліджуються параметри як самих дозиметрів, так і джерел випромінювання. Виходячи зі спектрального складу випромінювання, вивчаються види джерел випромінювання, параметрів дозиметрів та вимоги до устав їх метрологічного забезпечення. У зв'язку з наявними фізичними та іншими обмеженнями та на основі чинного метрологічного досвіду, для розширення можливостей метрологічної підтримки пропонується залучити рентгенівські установи для калібрування дозиметрів гамма-випромінювання.

Ключові слова

Дозиметр, еталонні установки, іонізуюче випромінювання, калібрування, метрологічне забезпечення, спектр.

Keywords

Dosimeter, Reference equipment, Ionizing radiation, Calibration, Metrological assurance, Spectrum.

1. Abstract

The specific of metrological support for different types of dosimeters is considered. Gamma-ray sensors are commonly used for measuring the radiation doses as also the fluid levels in industry. Typically, the ^{60}Co or ^{137}Cs isotopes as the radiation source are applied. For instance, in the USA, such detectors are beginning to be used as part of the Container Security Initiative [1]. Problems of their metrological assurance are becoming more general. They require the development of metrological support. There are conducted researches of calibration, metrological verification, and determination of the sensitivity of gamma-ray dosimeters, on the basis of joint application of installations equipped with ionizing radiation sources and of X-ray installations.

The implementation of the Program of Integration of Ukraine into the European Union requires harmonization of ukrainian and international standards, in the field of metrological support of means for measuring the characteristics of ionizing radiation including. Recently, a number of regulatory, methodological documents and issues have been published They concern the dosimetric measurement of gamma-ray characteristics in the field of radiation safety, diagnostics, and therapy.

2. Introduction

Незважаючи на інтенсивний розвиток ядерного приладобудування, в Україні відбувається сповільнена заміна й модернізація еталонного обладнання для метрологічного забезпечення засобів вимірювальної (далі - ЗВТ) техніки іонізуючих випромінень. Гостро стоїть питання щодо характеристик та точності еталонів, якими забезпечені метрологічні лабораторії, щодо умов і методів створення стандартного джерела випромінювання для метрологічної перевірки чи калібрування ЗВТ. Більшість еталонів не відповідають вимогам міжнародних стандартів. Особливо важка ситуація складається з еталонними установками для дозиметрії гамма-

випромінення. Це пов'язано з необхідністю забезпечення безпеки при використанні джерел іонізуючого випромінення (далі — ДІВ), особливо джерел гамма-випромінення, які мають високі активності, та пов'язано з високою ціною на еталонне обладнання.

3. Мета роботи

Метою роботи є вивчення шляхів удосконалення еталонної бази України в області дозиметричних вимірювань на основі аналізу стану метрологічного забезпечення вимірювань характеристик джерел гамма — випромінення.

4. Джерела випромінення та еталонна база в галузі вимірювань у сфері радіації

Згідно серії стандартів ISO 4037 [2], встановлено вимоги до характеристик стандартного рентгенівського і гамма - випромінення та методів їх створення. Для останнього потрібно використовувати ДІВ з радіонуклідами, які зазначені в таблиці 1.

Таблиця 1 Радіонукліди

№ п/п	Радіонуклід	Енергія випромінення, кеВ	Період напіврозпаду, доби
1	⁶⁰ Co	1173,3 1332,5	1925,5
2	¹³⁷ Cs	661,6	11050
3	²⁴¹ Am	59,54	157788

У ДІВ важливо використовувати радіоактивну речовину, яка має достатню активність на одиницю маси; крім того, потужність керми (потужність дози) в повітрі, зумовлена дією радіоактивних домішок, не повинна перевищувати 1% від потужності керми в повітрі. Також важливо, щоб вклад зовнішнього розсіяного випромінення у випромінення від джерела не перевищував 5 % загальної потужності керми в повітрі; цього можна досягнути за допомогою використання установок неколімованої геометрії (використовують приміщення великих розмірів) та /або колімованої геометрії. Установки неколімованої геометрії повинні розміщуватися в приміщеннях з мінімальними розмірами 4м×4м×3м.

Схема прикладу установки колімованої геометрії представлена на рис.1. Установки даного типу особливо придатні для застосування ДІВ з радіонуклідами ⁶⁰Co та ¹³⁷Cs, оскільки у них вклад розсіяного випромінення є меншим від 5 %.

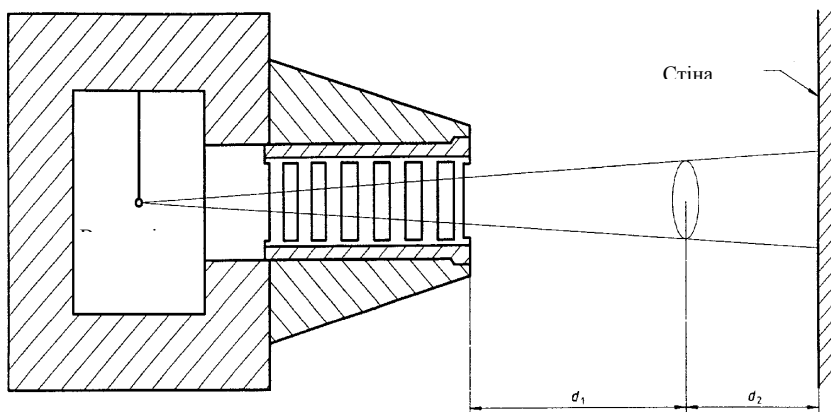


Рисунок 1. Приклад установки колімованої геометрії

Установки повинні відповідати двом основним вимогам: вклад зовнішнього розсіяного випромінення у випромінення від джерела у капсулі не повинен перевищувати 5 % сумарної потужності керми у повітрі; потужність керми у повітрі повинна бути обернено пропорційною квадрату відстані від центру джерела до центру детектора (в межах 5 %).

Основу метрологічної бази в Україні в цій галузі становлять еталонні (калібрувальні) установки типу УПГД-1 (-

2, -3) і УПД-Інтер, які на даний момент вважаються основними для метрологічної перевірки чи калібрування дозиметрів гамма-випромінювання. В таблиці 2 показані їх основні характеристики.

Таблиця 2.

Основні характеристики еталонних установок УПГД та УПД-Інтер.

№ п/п	Основні характеристики	УПГД	УПД-Інтер
1	Джерело іонізуючого випромінювання	^{60}Co , ^{137}Cs , ^{241}Am	^{137}Cs
2	Діапазон вимірювання, Гр/год	до 5×10^{-2} ¹⁾	до 3 ¹⁾
3	Діапазон робочих відстаней, м	0,5 – 5,0 ¹⁾	0,2 – 1,5 ¹⁾

Примітка. Наведені приблизні дані.

По своїй конструкції установки типу УПГД відповідають вимогам [2]. За їх допомогою можна проводити метрологічну перевірку чи калібрування практично всіх дозиметричних приладів, якщо виконуються вимоги п.4.1 [2]. Розглянемо спектр (рис.2), отриманий у результаті калібрування гамма-детектора CsI на установці УПГД-2. Він доволі схожий на спектр ^{137}Cs від точкового джерела: вплив розсіяного випромінювання - незначний, а відношення пік/комптом - задовільне.

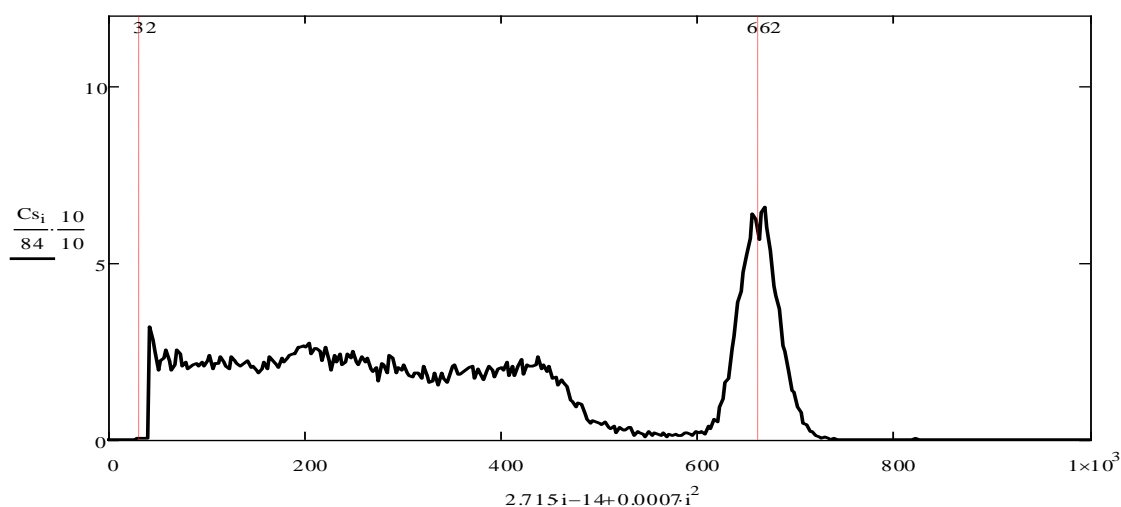


Рисунок 2. Апаратурний відгук спектру для гамма – детектора CsI від ДІВ ^{137}Cs в тонкій капсулі зі сталі на установці УПГД-2

Проте, на даних установках для метрологічної перевірки чи калібрування дозиметрів гамма - випромінювання застосовуються декілька (зазвичай 3-4) ДІВ максимальною активністю до 10^{11}Бк (5 Кюрі), що забезпечує перевірку дозиметрів гамма-випромінювання в діапазоні потужностей доз лише до 50 мГр/год (на відстані 1 метр від джерела), тоді як у багатьох приладів діапазон вимірювання - до 10 Гр/год. Індивідуальні дозиметри для поточного та аварійного контролю, що застосовуються на радіаційно-небезпечних об'єктах, також мають діапазон вимірювання до 10 Зв (10 Гр), і для метрологічної перевірки чи калібрування в усьому діапазоні вимірювання їх необхідно опромінювати на установках типу УПГД протягом 160 годин.

Всі джерела, які застосовуються в установках типу УПГД, зберігаються в настінних сейфах. При перевірці дозиметрів їх дістають із сейфа та встановлюються в коліматор установки вручну або за допомогою механічного ручного пристрою; так само їх повертають до сейфу. Дана операція повторюється декілька разів підчас повірки одного широкодіапазонного дозиметра. Це збільшує дозу опромінювання персоналу.

Іншою проблемою метрологічного забезпечення дозиметрії гамма-випромінювання є те, що метрологічні організації потребують установок, що забезпечують значно ширший діапазон переданих потужностей доз, ніж установки УПГД. Особливо це стосується повірки широкодіапазонних дозиметрів гамма-випромінювання.

Установка УПД – Інтер - одна з найпоширеніших в Україні - забезпечує метрологічну перевірку / калібрування дозиметрів гамма-випромінювання в широкому діапазоні потужностей доз. Вона складається із камери опромінювання та головки радіаційної (коліматора) з атенуаторами (фільтрами), які забезпечують зміну потужності дози. Радіаційна головка, яка містить одне джерело ^{137}Cs активністю приблизно 20 ТБк (550Ки), виконана з вольфрамового сплаву і забезпечує формування пучка випромінювання. Бокова поверхня камери

виготовлена із сталі, а торцева сторона із свинцевих блоків. Габаритні розміри - 758 x 618 x 1490 мм³ при масі до 1800 кг, що дає змогу використовувати її у стаціонарних умовах та пересувних лабораторіях. В установці створюється поле випромінення достатньої рівномірності (табл.3), необхідної для перевірки більшості типів дозиметричних приладів. На жаль, конструкція установки УПД – Інтер не відповідає вимогам [2].

Таблиця 3.

Залежність розміру рівномірного поля установки від відстані до ДІВ

Відстань до джерела, см	20	40	1000	1200	1650
Розмір поля, мм	85x68	155x125	370x290	435x345	600x470

На рис. 3 показано отриманий експериментально апаратурний відгук спектра для гамма – детектора CsI від точкового джерела ¹³⁷Cs.

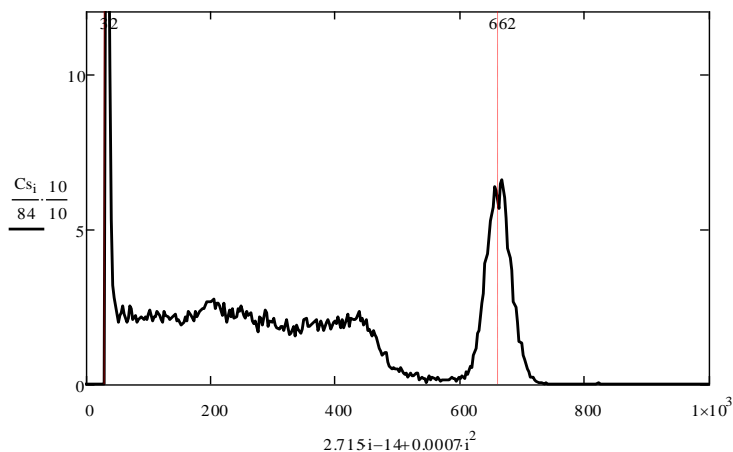


Рисунок 3. Апаратурний відгук спектра для гамма – детектора CsI від точкового джерела ¹³⁷Cs

На спектрі чітко видно пік ¹³⁷Cs з енергією 662 кеВ та пік рентгенівського випромінення з енергією 32кеВ, причому вклад розсіяного випромінення є незначним. Даний спектр можна прийняти за стандартний. На рис.4-5 показано апаратурні відгуки спектрів для гамма – детектора CsI для установки УПД — Інтер з ДІВ ¹³⁷Cs.

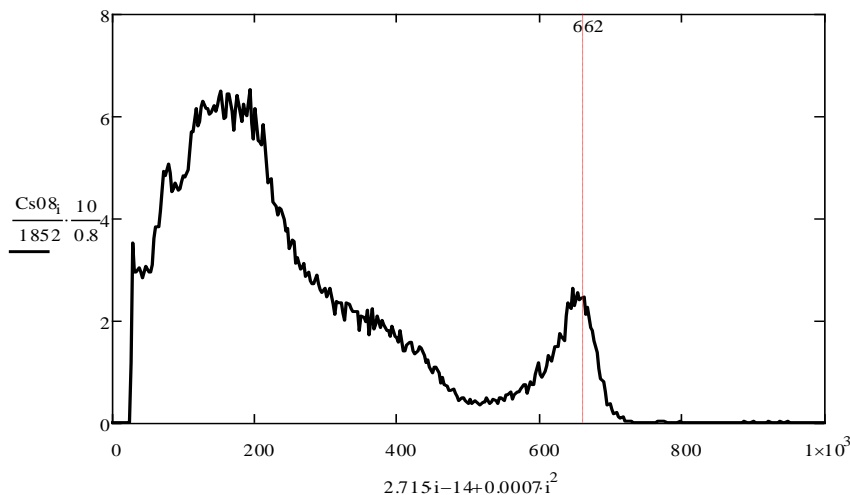


Рисунок 4. Апаратурний відгук спектра для гамма – детектора CsI від ДІВ ¹³⁷Cs на установці УПД — Інтер з декількома атенуаторами із вольфрамового сплаву

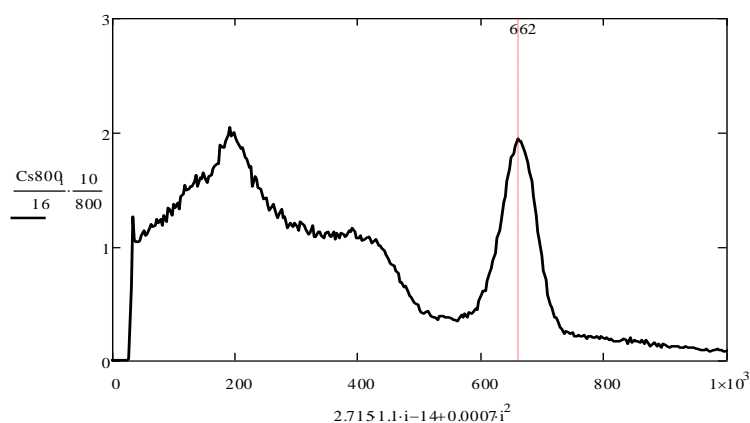


Рисунок 5. Апаратурний відгук спектра для гамма – детектора CsI від ДІВ ^{137}Cs на установці УПД — Інтер без застосування атенюаторів

Спектр, показаний на рис. 4, отримано на установці УПД - Інтер з використанням атенюаторів різної товщини. Тут вклад розсіяного випромінювання є значним (помітно значний вклад комптонівського розподілу: відношення пік / комптон - суттєво мале). Спектр рис. 5 отримано без застосування атенюаторів; вклад розсіяного випромінювання менший, але присутній пік зворотнього розсіювання (~ 184 кеВ), що впливає на результат. Як видно, дані спектри характеризуються різною формою при різних умовах калібрування. На жаль, при застосуванні атенюаторів для послаблення пучка гамма-випромінювання стає невідомою відстань від ДІВ до ефективного центру блоків детектування приладів, а вклад розсіяного випромінювання стає суттєвим. Це утруднює визначення спектру гамма-випромінювання.

Передача розміру одиниці вимірювання за допомогою еталонних іонізаційних камер для метрологічної перевірки/калібрування дозиметрів установками типу УПД — Інтер не завжди є доцільним. Вона допускається лише за умови, що метрологічна перевірка/калібрування проводиться для енергетично скомпенсованих приладів. Необхідно підкреслити, що саме різна енергетична залежність приладів та різний вплив супутніх випромінювань в певних умовах може призвести до значних розбіжностей в показах дозиметрів різних типів. Тому передача розміру одиниці вимірювання повинна проводитися методом групового компаратора. Проте, за допомогою конкретної установки можна перевіряти тільки ті типи приладів, для яких вона відкалібрована. Звідси, кожна еталонна установка має свої переваги та недоліки:

- з допомогою установок типу УПД-2 є можливість проводити метрологічну перевірку/калібрування практично всіх типів дозиметрів в широкому енергетичному діапазоні, але не у всьому діапазоні вимірювання;
- з допомогою установок типу УПД - Інтер є можливість проведення метрологічної перевірки в більш широкому діапазоні вимірювання (за рахунок високоактивного джерела випромінювання), проте тут не виконуються вимоги до характеристик стандартного випромінювання.

5. Розроблення еталонної бази метрологічного забезпечення у сфері радіації

Найочевидніше рішення - це створення еталонних установок, які б відповідали вимогам [2] з високоактивними джерелами гамма - випромінювання. Проте, недоліки даного рішення очевидні: при значній вартості джерел, установок та приміщень для їх розміщення виникають проблеми із забезпеченням радіаційної безпеки.

Тому набуває резону проведення досліджень: щодо метрологічної перевірки дозиметрів на установках типу УПД — Інтер; щодо досліджень дозиметрів з різними типами детекторів (газорозрядними лічильниками, сцинтиляторами, іонізаційними камерами та іншими); щодо вимірювань та аналізу енергетичних спектрів; щодо залучення різних методів калібрування установок та дозиметрів з їх допомогою.

Проведено попередні дослідження особливостей застосування установки рентгенівського випромінювання в комплексі з установками, укомплектованими ДІВ, для калібрування, метрологічної перевірки (верифікації) та визначення чутливості дозиметрів гамма — випромінювання в широкому діапазоні потужностей доз. Подібна робота з градування дозиметрів попередньо здійснена [7]. Рентгенівські установки характеризуються низкою переваг порівняно з потужними гамма-установками. Вони простіше забезпечують радіаційну безпеку при транспортуванні, монтажі та експлуатації, легше досягнути надійного радіаційного захисту приміщення; при

меншій у декілька разів вартості рентгенівська установка може перекрити до трьох порядків діапазону потужностей доз.

Блоки детектування багатьох дозиметрів характеризуються нелінійною градуовальною характеристикою; до прикладу, блоки на основі газорозрядних лічильників. При значних потужностях доз, внаслідок наявності у лічильників зони спрацювання за часом («мертвого часу»), зростає мультиплікативна складова похибки. У багатьох дозиметричних приладів верхня межа вимірювання становить 10 Зв/год (10 Гр/год). Лінеаризація градуовальної характеристики здійснюється за допомогою процесора блоку шляхом введення поправки на період спрацювання за формулою: $X=K \times N \times (1-\tau \times N)^{-1}$, де X - величина, що вимірюється, до прикладу, потужність керми в повітрі гамма-випромінення, Гр·с⁻¹; K - коефіцієнт перетворення (чутливість) блоку детектування; N - швидкість лічення імпульсів, імп·с⁻¹; τ - «мертвий час», с.

Тому для проведення калібрування (градування) дозиметрів гамма-випромінення, з метою визначення згаданої складової похибки, необхідні ДІВ, які забезпечують відтворення потужності дози на рівні 6-8 Зв/год. Тоді на установках УПГД та УПД-Інтер перевіряється тільки чутливий піддіапазон (детектор) приладів, а в грубому піддіапазоні перевіряється лише працездатність детектора на початку піддіапазону. При цьому, наперед визначається чутливість до джерела гамма-випромінення ¹³⁷Cs в одній точці початку діапазону, а потім на установці рентгенівського випромінення досліджується лінійність градуовальної характеристики у всьому діапазоні вимірювань.

6. Висновки.

1. В результаті проведених досліджень показана можливість калібрування, метрологічної перевірки (верифікації), а також визначення чутливості дозиметрів гамма — випромінення, на основі методу спільного застосування установок, укомплектованими джерелами іонізуючого випромінення, та установок рентгенівського випромінення.
2. Суть методу полягає у визначенні чутливості до джерела гамма - випромінення ¹³⁷Cs в одній точці на початку діапазону з наступним залученням установки рентгенівського випромінення для вивчення лінійності градуовальної характеристики у всьому діапазоні вимірювань.
3. Разом з тим, основні проблеми, що обмежують застосування рентгенівських установок при метрологічній перевірці дозиметрів, пов'язані з нестабільністю рентгенівської трубки і суцільним спектром рентгенівського випромінення. Якщо перша проблема вирішується за допомогою еталонного дозиметра або камери-свідка, то друга проблема є набагато складнішою.

Список літератури

1. Container
2. ДСТУ ISO 4037-1:2006 Рентгенівське та гамма-випромінення стандартні для калібрування дозиметрів і вимірювачів потужності дози та визначення їх чутливості як функції енергії фотонів. Частина 1. Характеристики випромінення та методи їх створення (ISO 4037-1:1996, IDT).
3. ДСТУ ISO 4037-2:2006 Рентгенівське та гамма-випромінення стандартні для калібрування дозиметрів і вимірювачів потужності дози та визначення їх чутливості як функції енергії фотонів. Частина 2. Дозиметрія для радіаційного захисту в діапазонах енергій від 8keV до 1.3 MeV та від 4MeV до 9 MeV (ISO 4037-2:1997, IDT).
4. ДСТУ ISO 4037-3:2006 Рентгенівське та гамма-випромінення стандартні для калібрування дозиметрів і вимірювачів потужності дози та визначення їх чутливості як функції енергії фотонів. Частина 3. Калібрування просторових та індивідуальних дозиметрів і вимірювання їх чутливості як функції енергії та кута падання (ISO 4037-3:1999, IDT).
5. Исследование возможности градуировки блоков детектирования фотонного излучения с использованием рентгеновской установки Л.Л.Синников, Э.Ф.Андривский. АНРИ №1(80) 48-51, 2015.
6. Safety reports Series №16. Calibration or radiation protection monitoring instruments, 2000