

# РОЗВИТОК ЗАСОБІВ ЕТАЛОННОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ОБЛАСТІ ДОЗИМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

## DEVELOPMENT OF THE DOSIMETRIC STANDARDS BASE

*Яцишин С. П., д-р техн. наук, проф., Лазаренко С. Л., асп.  
Національний університет "Львівська політехніка", Україна  
e-mail: slav.yat@gmail.com*

*Svyatoslav Yatsyshyn, Dr. Sc., Prof., Sergii Lazarenko, PhD Student  
Lviv Polytechnic National University, Ukraine; e-mail: slav.yat@gmail.com*

<https://doi.org/>

**Анотація.** Проаналізовано питання розвитку засобів еталонного забезпечення, необхідних для метрологічної перевірки та калібрування дозиметрів бета- та гамма-випромінювання. Останні вкрай необхідні для дозиметричних вимірювань характеристик випромінювання в області радіаційної безпеки, променевої діагностики та терапії. Окрім традиційних вимог та питань, пов'язаних із проектуванням, створенням та використанням зазначених еталонів, постає низка проблем, зумовлених радіаційною безпекою, як під час метрологічної перевірки та калібрування дозиметрів, так і під час створення та експлуатації самих еталонів. Розглянуто також питання передавання розміру одиниці вимірювання за допомогою еталонних іонізаційних камер процесі під час метрологічної перевірки/калібрування дозиметрів на установках типу УПД-Інтер. Показано, що проведення метрологічної перевірки/калібрування допускається для приладів, скомпенсованих енергетично.

**Ключові слова:** дозиметр, еталонні установки, іонізуюче випромінювання, калібрування, метрологічне забезпечення, спектр.

**Abstract.** The article deals with the development of the reference means of support and metrological insurance required for metrological verification and calibration of beta and gamma radiation dosimeters. The latter are extremely necessary for dosimetric measurements of radiation characteristics in the field of radiation safety, radiation diagnosis and therapy. In addition to traditional requirements and issues related to the design, development and use of these standards, there are considered a row of problems caused by radiation safety, during the metrological inspection and calibration of dosimeters, as well as while creating and operating the standards themselves. The purpose of this work is an analysis of the state of the metrological provision of measurements of gamma radiation characteristics in the area of dosimetric measurements and the search for ways to improve the reference base.

The issue of transmitting the size of the measurement unit with reference ionization chambers in the process of metrological checking/calibration of dosimeters at the UDD-Inter facility is also considered. It is shown that metrological verification/calibration is allowed for devices that have been compensated energetically. It is underlined that testing of standards and calibration devices for dosimetric control should meet two main requirements, namely the contribution of external scattered radiation to radiation from the source in the capsule must not exceed 5 % of the total power in the air; the power of the considered radiation in the air should be inversely proportional to the square of the distance from the center of the ionization source to the detector center within deviations  $\pm 5$  %.

**Key words:** Dosimeter, Standards, Ionizing radiation, Calibration, Metrological support, Spectrum.

### Вступ

Взаємне визнання результатів випробування, калібрування засобів вимірювальної техніки, устаткування та різноманітної продукції на міжнародному рівні є одним із основних чинників для усунення всіх бар'єрів у науковому, економічному, торговельному співробітництві. Для реалізації Програми інтеграції України в Європейський Союз необхідна гармонізація українських і міжнародних стандартів, зокрема у сфері метрологічного забезпечення вимірювання характеристик іонізуючого випромінювання.

Останніми роками в світі з'явилося чимало нормативних, методичних документів та матеріалів, які стосуються сфери дозиметричних вимірювань характеристик гамма-випромінювання в області радіаційної безпеки, променевої діагностики та терапії [1]. Більш ніж 85 % чинних стандартів, які використовуються нині в метрологічній діяльності в Україні, розроблено в 80-ті роки.

### Недоліки

Незважаючи на швидкий розвиток ядерного приладобудування, в Україні повільно відбувається заміна та модернізація еталонного обладнання для метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) іонізуючих випромінювань. Загострилось питання щодо характеристик еталонів, якими забезпечені наші метрологічні лабораторії, а також умов і методів створення джерел стандартного випромінювання для метрологічної перевірки чи калібрування ЗВТ: значна частина еталонів не відповідає вимогам міжнародних стандартів. Особливо важка ситуація складається із дорогими та унікальними еталонними установками для дозиметрії гамма-випромінювання. Це пов'язано, передусім, із питаннями безпеки під час використання високоактивних джерел гамма-випромінювання.

### Мета роботи

Метою роботи є аналіз стану метрологічного забезпечення вимірювань характеристик гамма-випромінювання в області дозиметричних вимірювань та пошук способів удосконалення еталонної бази.

### 1. Сучасний стан та вимоги до метрологічного забезпечення вимірювань характеристик гамма – випромінювання

**1.1 Вимоги до характеристик стандартного гамма-випромінювання для калібрування (випробування) дозиметричних приладів.** Згідно з вимогами [2] (це фактично єдиний міждержавний стандарт, який встановлює вимоги до характеристик стандартного рентгенівського та гамма-випромінювань) для створення стандартного джерела гамма-випромінювання потрібно використовувати ДІВ з радіонуклідами, які зазначені в табл. 1.

Таблиця 1

#### Радіонукліди

Table 1

#### Radionuclides

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

У ДІВ важливо використовувати радіоактивну речовину з достатньою активністю на одиницю маси та забезпечити умови, за яких потужність керми в повітрі від радіоактивних домішок не перевищуватиме 1 % від потужності керми в повітрі. Капсулювання джерел повинно відповідати вимогам [3]. Капсули повинні забезпечувати поглинання бета-випромінювання джерел. Також важливо, щоб внесок зовнішнього розсіяного випромінювання у випромінювання від джерела не перевищував 5 % від загальної потужності керми в повітрі; цього можна досягти за допомогою установок неколімованої геометрії (використовують приміщення великих розмірів) та/або колімованої геометрії.

Основне еталонне обладнання в області дозиметрії повинно складатися із ДІВ, високоточних еталонних дозиметрів з іонізаційними камерами та дозиметричних установок неколімованої та колімованої геометрії. Високоточні еталонні дозиметри з іонізаційними камерами, що використовуються для передавання розміру одиниці, повинні мати належну

чутливість для кожного енергетичного рівня та точність. Установки неколімованої геометрії треба розміщувати у приміщеннях з мінімальними розмірами 4×4×3 м<sup>3</sup>. ДІВ та іонізаційну камеру розміщують на половині висоти приміщення та на опорах, які сконструйовано із мінімальною кількістю матеріалів, що мають низький атомний номер. Приклад установки колімованої геометрії схематично подано на рис. 1.

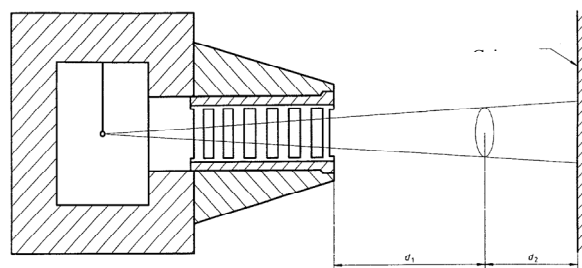


Рис. 1. Приклад колімованої установки

Figure 1. An example of a collimated installation

Установки цього типу особливо придатні для застосування ДІВ з радіонуклідами <sup>60</sup>Co та <sup>137</sup>Cs, оскільки внесок розсіяного випромінювання не перевищує 5 %. Захисний корпус виготовляють зі свинцю з такою товщиною корпусу, яка забезпечує зменшення флюенсу зовнішнього пучка випромінювання, що проходить крізь корпус, до однієї тисячної інтенсивності власного пучка випромінювання. Установка колімованої геометрії має коліматор у вигляді конуса з джерелом на вершині, що забезпечує створення форми та розміру фотонного пучка. Він має принаймні шість послідовних калібрів (із отворами) загальної товщини приблизно 90 мм, виготовлених з вольфрамового сплаву. Отвори відділені собою один від одного 20-міліметровими проміжками, що вважаються пастками для фотонів, які розсіюються на краях отворів. Діаметр останнього калібру за товщини 3 мм повинен незначно перевищувати поперечний діаметр пучка. Площа поперечного перерізу пучка випромінювання перевищує площу поперечного перерізу детекторів, які підлягають метрологічній перевірці чи калібруванню з опромінюванням. Відстань  $d_1$  рівною повинна дорівнювати або бути більшою, ніж 30 см. Відстань  $d_2$  повинна бути достатньо великою, щоб внесок фотонів, які розсіялися від стінок кімнати, в сумарну потужність керми в повітрі не перевищував 5 %. Замість джерел із різними активностями допускається застосування свинцевих атенюаторів з метою зміни потужності керми в повітрі. Атенюатори розміщують поблизу діафрагми. Набір атенюаторів різних товщин дає змогу контрольовано змінювати потужність керми у повітрі. Діапазон ослаблення

може бути достатньо широким. При цьому необхідно контролювати спектральну чистоту випромінювання. Щоб запобігти впливу спотворення електронної рівноваги в точці калібрування (тестування, випробування), відстань між свинцевими атенюаторами та точкою калібрування повинна становити принаймні 100 см.

Узагальнено можна дійти висновку, що установки повинні відповідати двом основним вимогам:

– внесок зовнішнього розсіяного випромінювання у випромінювання від джерела у капсулі не повинен перевищувати 5 % сумарної потужності керми у повітрі;

– потужність керми у повітрі повинна бути обернено пропорційною до квадрата відстані від центра джерела до центра детектора з відхиленням у межах 5 %.

**1.2. Еталонне забезпечення в області дозиметричних вимірювань.** Основу метрологічної бази в Україні в цій галузі становлять еталонні (калібрувальні) установки типу УПГД-1 (-2, -3), УПД-Інтер, УПДП -1-5, УПДП-1-3, УППР, УПД-1. У багатьох з цих установок (УПДП -1-5, УПДП-1-3, УППР, УПД-1) застосовано засади еквівалентності радіаційних полів, чим забезпечується перевірка дозиметрів гамма-випромінювання у широкому діапазоні потужностей доз за допомогою джерел бета-випромінювання. Вказані установки розроблено у 80-ті роки минулого століття. Вони вузькофункціональні й можуть застосовуватися лише для метрологічної перевірки чи калібрування одного або декількох типів дозиметрів: УПДП -1-5 – для приладів ДП-5; УПДП-1-3 – для приладів ДРГЗ-01, -02, -03, -05; УППР – для приладів СРП-68, СРП-88; УПД-1 – для перевірки індивідуальних дозиметрів (переважно тільки деяких типів). Калібрування цих еталонних установок повинно проводитися лише методом групового компаратора, тобто передаванням розміру одиниць від еталона до установок за допомогою тих типів приладів, які проходять метрологічну перевірку чи калібрування на цій установці.

Фактично, сьогодні основним інструментом для метрологічної перевірки чи калібрування дозиметрів гамма-випромінювання в Україні є установки типу УПГД та УПД-Інтер. Розглянемо їхні переваги та недоліки. В табл. 2 подано основні характеристики еталонних установок УПГД та УПД-Інтер.

Установка УПД-Інтер (поширена в метрологічних організаціях України і аж ніяк не універсальна) забезпечує метрологічну перевірку чи калібрування дозиметрів гамма-випромінювання у широкому діапазоні потужностей доз. Конструктивно вона складається із камери опромінення та головки радіаційної (коліматора) із атенюаторами (фільтрами), які забезпечують зміну потужності дози. Бокова поверхня камери виготовлена із сталі завтовшки 16 мм, а торцева сторона зі свинцевих блоків завтовшки 100 мм. Габаритні розміри: висота 758 мм, ширина 618 мм, довжина 1490 мм. Головка радіаційна забезпечує формування пучка випромінювання. Ця головка та атенюатори виготовлені із вольфрамового сплаву. На рис. 2 наведено апаратний відгук спектра, отриманий експериментально для гамма-детектора CsI від точкового джерела  $^{137}\text{Cs}$ .

На спектрі чітко виділяється пік  $^{137}\text{Cs}$  з енергією 662 кеВ, пік рентгенівського випромінювання з енергією 32 кеВ, а внесок розсіяного випромінювання незначний. Цей спектр можна прийняти за стандартний. На рис. 3 та 4 показано апаратні відгуки спектрів установки УПД-Інтер для гамма-детектора CsI з ДІВ  $^{137}\text{Cs}$ .

Спектр, показаний на рис. 3, отримано на установці УПД-Інтер з використанням атенюаторів різної товщини. Видно, що внесок розсіяного випромінювання значний (зокрема внесок комптонівського розподілу – відношення пік/комптон – доволі малий). Спектр, показаний на рис. 4, отримано без застосування атенюаторів. Тут внесок розсіяного випромінювання менший, але наявний пік оберненого розсіювання (приблизно 184 кеВ), який також впливає на результат. Інакше кажучи, вивченим спектром притаманні різні форми за різних умов калібрування.

Таблиця 2

Основні характеристики еталонних установок УПГД та УПД-Інтер

Table 2

The main characteristics of the reference facilities of ULDH and UDD-Inter

№ з/п	Основні характеристики	УПГД	УПД-Інтер
1	Джерело іонізуючого випромінювання	$^{60}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{241}\text{Am}$	$^{137}\text{Cs}$
2	Діапазон вимірювання, Гр/год	до $5 \times 10^{-2}$ <sup>1)</sup>	до 3 <sup>1)</sup>
3	Діапазон робочих відстаней, м	0,5 – 5,0 <sup>1)</sup>	0,2 – 1,5 <sup>1)</sup>
Примітка. Наведено приблизні дані.			

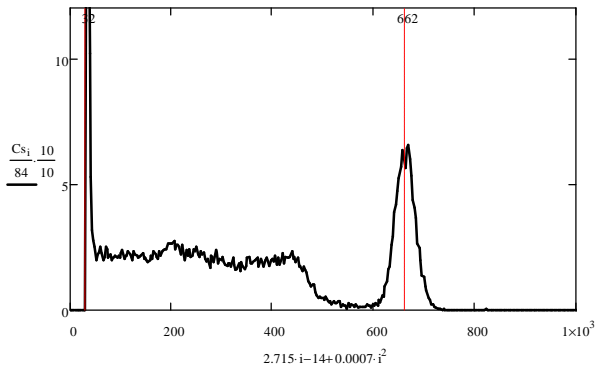


Рис. 2. Апаратурний відгук спектра від точкового джерела  $^{137}\text{Cs}$  для гамма-детектора CsI

Figure 2. Hardware response spectrum from point source  $^{137}\text{Cs}$  for gamma detector CsI

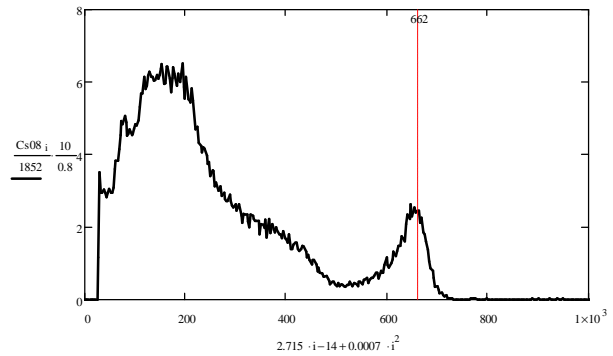


Рис. 3. Апаратурний відгук спектра для гамма-детектора CsI від ДІВ  $^{137}\text{Cs}$  на установці УПД-Інтер з декількома атенюаторами із вольфрамового сплаву

Figure 3. Hardware response spectrum for gamma detector CsI from  $^{137}\text{Cs}$  at the UDD-Inter unit with several tungsten alloy attenuators

Рис. 4. Апаратурний відгук спектра для гамма-детектора CsI від ДІВ  $^{137}\text{Cs}$  на установці УПД-Інтер без застосування атенюаторів

Figure 4. Hardware response spectrum for gamma detector CsI from  $^{137}\text{Cs}$  at FPD-Inter unit without application of attenuators

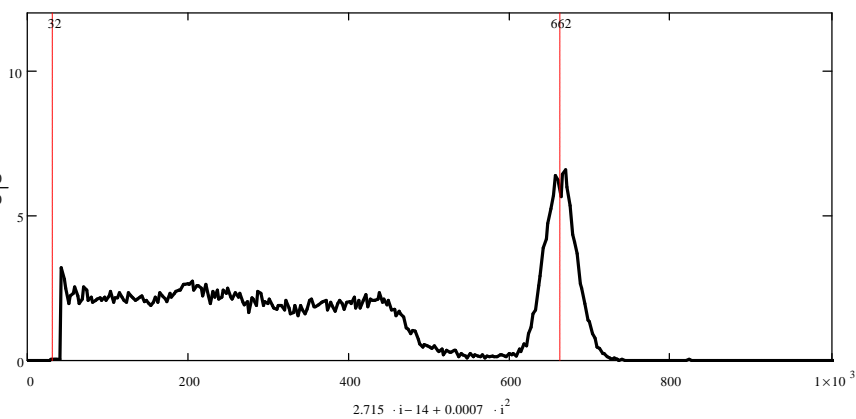
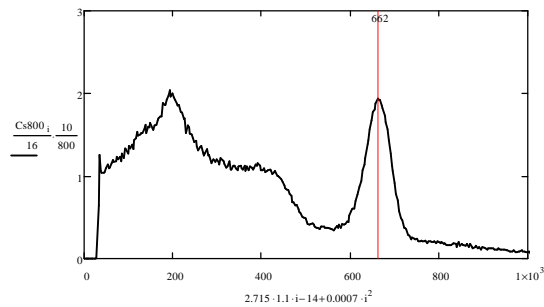


Рис. 5. Апаратурний відгук спектра для гамма-детектора CsI від ДІВ  $^{137}\text{Cs}$  у тонкій капсулі зі сталі на установці УПГД-2

Figure 5. Hardware response spectrum for gamma detector CsI from  $^{137}\text{Cs}$  in a thin steel capsule at the unit UPGHD-2

Передавання розміру одиниці вимірювання за допомогою еталонних іонізаційних камер для метрологічної перевірки чи калібрування дозиметрів установками типу УПД-Інтер не завжди доцільне; воно допускається за умови, що метрологічна перевірка/калібрування здійснюється для приладів, скомпенсованих енергетично. Тому передавання

розміру одиниці вимірювання повинно проводитися методом групового компаратора, а за допомогою описаної установки можна перевіряти тільки ті типи приладів, для яких вона відкалібрована.

Метрологічну перевірку/калібрування дозиметрів у колімованому пучку гамма-випромінювання можна здійснювати також на універсальних

установках типу УПГД-2 або КІС-НРР. У них, починаючи з деякої відстані від джерела, внесок розсіяного від стін коліматора випромінювання у потужність дози стає незначним, порівняно із внеском прямого пучка випромінювання, і виконується закон обернених квадратів. Тому на цих установках можна виконувати перевірку будь-яких типів дозиметрів гамма-випромінювання. Установки КІС-НРР, що мають автоматичні системи подавання джерел із підземних сховищ в коліматор, руху і позиціонування коліматора на лінійці установки, випущені в 70-х роках. Сьогодні більшість з них непрацездатні.

Розглянемо спектр (рис. 5), отриманий у результаті калібрування гамма-детектора CsI на установці УПГД-2. Він доволі схожий на спектр  $^{137}\text{Cs}$  від точкового джерела, вплив розсіяного випромінювання незначний, а відношення пік/комптом довільне.

За конструкцією установки типу УПГД загалом відповідають вимогам ДСТУ ISO 4037-1:2006; на них можна проводити метрологічну перевірку чи калібрування практично всіх дозиметричних приладів, якщо виконуються вимоги п. 4.1. Проте у такому разі метрологічна перевірка чи калібрування дозиметрів гамма-випромінювання проводиться на декількох ДІВ (зазвичай трьох-чотирьох) з максимальною активністю приблизно до  $10^{11}$  Бк (5 Кюрі), що забезпечує перевірку дозиметрів гамма-випромінювання у діапазоні потужностей доз лише до 50 мГр/год (на відстані 1 м від джерела), тоді як багато приладів мають 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 проведення їх метрологічної перевірки чи калібрування в усьому діапазоні вимірювання необхідно опромінювати їх на установках типу УПГД протягом 160 год.

## Висновки

Еталонні установки перевірки та калібрування засобів дозиметричного контролю повинні відповідати двом основним вимогам, а саме: внесок зовнішнього розсіяного випромінювання у випромінювання від джерела у капсулі не повинен перевищувати 5 % сумарної потужності керми у повітрі; потужність керми у повітрі повинна бути обернено пропорційною до квадрата відстані від центра джерела до центра детектора за відхилень у межах 5 %. У разі застосування атенуаторів для послаблення пучка гамма-випромінювання стає невідомою відстань від джерела випромінювання до ефективного центра блоків детектування приладів,

невідомий і сам спектр гамма-випромінювання, а внесок розсіяного випромінювання доволі значний.

Передавання розміру одиниці вимірювання за допомогою еталонних іонізаційних камер під час метрологічної перевірки/калібрування дозиметрів установками типу УПД-Інтер не завжди методологічно обґрунтоване, допускається за умови, що метрологічна перевірка/калібрування здійснюється для приладів, скомпенсованих енергетично.

## Подяка

Автори висловлюють вдячність колективу кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету "Львівська політехніка" за надану допомогу та всемірне сприяння у підготовці та виконанні цієї роботи.

## Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність будь-якого фінансового або іншого можливого конфлікту, що стосується роботи.

## Список літератури

[1] A. Abudra'A, Development of new dosimetric standards for low energy X-rays ( $\leq 50$  keV) used in contact radiotherapy, 2017, [On-line]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/324217513\\_Development\\_of\\_new\\_dosimetric\\_standards\\_for\\_low\\_energy\\_X-rays\\_50\\_keV\\_used\\_in\\_contact\\_radiotherapy](https://www.researchgate.net/publication/324217513_Development_of_new_dosimetric_standards_for_low_energy_X-rays_50_keV_used_in_contact_radiotherapy)

[2] ДСТУ ISO 4037-1:2006. Рентгенівське та гамма-випромінювання: стандартні для калібрування дозиметрів і вимірювачів потужності дози та визначення їх чутливості як функції фотонів. Частина 1. Характеристики випромінювання та методи їх створення (ISO 4037-1:1996, IDT). [On-line]. Available: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=50579](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=50579)

[3] ISO 1677:1977. Sealed radioactive sources – General. [On-line]. Available: <https://www.iso.org/standard/6291.html>

## References

[1] A. Abudra'A, Development of new dosimetric standards for low energy X-rays ( $\leq 50$  keV) used in contact radiotherapy, 2017, [On-line]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/324217513\\_Development\\_of\\_new\\_dosimetric\\_standards\\_for\\_low\\_energy\\_X-rays\\_50\\_keV\\_used\\_in\\_contact\\_radiotherapy](https://www.researchgate.net/publication/324217513_Development_of_new_dosimetric_standards_for_low_energy_X-rays_50_keV_used_in_contact_radiotherapy)

[2] ISO 4037-1:1996. X and gamma reference radiation for calibrating doseimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy -- Part 1: Radiation characteristics and production methods. [On-line]. Available: <https://www.iso.org/standard/20781.html>

[3] ISO 1677:1977. Sealed radioactive sources – General. [On-line]. Available: <https://www.iso.org/standard/6291.html>