

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-5>

УДК 539.1.073

БЕРЕСТОВ Руслан

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0001-6368-7362>

ГОЦ Наталія

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0003-2666-2187>

РОСЬ Руслан

ДП "КІЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ"

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ АЛЬФА-ВИПРОМІНЕННЯ, ЩО ВХОДЯТЬ ДО СКЛАДУ ВТОРИННОГО ЕТАЛОНУ ВЕТУ 12-02-01-98

Дослідження метрологічних характеристик джерел альфа-випромінювання проводиться з метою заміни комплексу джерел, що входять до складу вторинного еталону, новим комплектом джерел α -випромінювання, який складається з 26 α -джерел типу 1П9, 2П9, 3П9, 4П9, 5П9, 6П9. За результатами експериментальних досліджень джерел альфа-випромінювання, визначається придатність їх до застосування як вторинних еталонів згідно з нормативною документацією.

Ключові слова: вторинний еталон, джерело альфа-випромінювання, рівномірності зовнішнього випромінювання альфа джерела.

BERESTOV Ruslan, HOTS Natalia,

Lviv Polytechnic National University

ROS Ruslan

SE "KYIVOBLSANDARTMETROLOGY"

STUDY OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF ALPHA RADIATION SOURCES INCLUDED IN THE SECONDARY STANDARD VETU 12-02-01-98

The employees of SE "KYIVOBLSANDARTMETROLOGY" carried out a study of the metrological characteristics of alpha-radiation sources with the aim of replacing the set of sources included in the secondary standard of production in 1971 with a new set of α -radiation sources. To conduct research, sources of type 1P9, 2P9, 3P9, 4P9, 5P9, 6P9 were used, providing an activity range from 10 Bk to 106Bk, a set of technical documentation. To determine the characteristics of these radiation sources, appropriate and well-calibrated equipment is required for reliable measurements [2]. Through experimental studies of α -radiation sources, the compliance of their metrological characteristics with the requirements of normative documents and their suitability for use as components of the secondary standard were determined. Experimental studies were conducted with the aim of determining the activity of the sources and the extended uncertainty of α -radiation sources, establishing their quantitative values in accordance with the calibration method MK-IR-02:2020 "Sources of ionizing radiation" and TU 95 417-083 in the sequence.

The aim of the scientific work is to study the metrological characteristics of α -radiation sources. It is carried out with the aim of replacing the set of sources included in the secondary standard (manufactured in 1971) with a new set of α -sources. According to the results of experimental studies of α -radiation sources, their suitability for use as part of the secondary standard VETU 12-02-01-98 is determined.

Based on the results of experimental studies, it was established that the metrological characteristics of the set of sources 1P9-6P9 meet the requirements of TU 95477-083, satisfy the requirements of DSTU 3743-98. Therefore, sets of α -radiation sources 1P9-6P9 can be used as measures of α -radiation activity used to complete the secondary standard VETU 12-02-01-98.

Keywords: secondary standard, α -radiation source, uniformity of external radiation of alpha source

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Еталонна база України засобів вимірювання активності, питомої активності та об'ємної активності радіонуклідів складається з системи еталонів[1], до якої входять:

- державний первинний талон;
- вторинні еталони;
- робочі еталони.

Державний первинний еталон складається з таких еталонних установок:

- установки еталонні для α -випромінювання УЕА-1 та УЕА-6;
- установки еталонні для β -випромінювання УЕА-2 та УЕА-7;
- установки еталонні для α - γ - та β - γ -випромінювання УЕА-3 та УЕА-4;
- установка еталонна для спеціальних джерел α -, β -, γ - випромінювання УЕА-5;
- установка еталонна для джерел γ -випромінювання УЕА-8.

Діапазон значень активності радіонуклідів, відтворених еталонами, становить:

- від 5 до $5 \cdot 10^{12}$ Бк для α -випромінювання;
- від 5 до $5 \cdot 10^{12}$ Бк для β -випромінювання;
- від 10^2 до 10^6 Бк для α - γ - та β - γ - випромінювання;
- від 10 до 10^6 Бк для α -, β -, γ - випромінювання;
- від 10^6 до $5 \cdot 10^{12}$ Бк для γ -випромінювання.

Державний первинний еталон забезпечує відтворення одиниці з середнім квадратичним відхиленням результату вимірювань S_v від $0,02 \cdot 10^{-2}$ до $0,2 \cdot 10^{-2}$ при $10 \div 100$ незалежних спостереженнях. Невилучена систематична похибка Θ_v складає $1 \cdot 10^{-2} \div 4 \cdot 10^{-2}$ і залежить від виду радіонукліда.

Вторинні еталони складаються з:

- наборів еталонних джерел α -, β - та фотонного випромінювання у діапазоні активностей від 10 до 10^{10} Бк;
- вторинних еталонів радіонуклідних джерел радія-226 у діапазоні активностей від $3,7 \cdot 10^6$ до $3,7 \cdot 10^9$ Бк.

Середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань $S_{\Sigma v}$ вторинних еталонів повинна знаходитись у границях від $0,5 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^{-2}$.

Робочі еталони, запозичені із інших повірочних схем, включають в себе:

- робочі еталонні піпетки 1-го розряду згідно з ДСТУ 3537-97 з діапазоном вимірювань від $5 \cdot 10^{-7}$ до $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ з границями допустимих відносних похибок $\Delta_v = 0,02 \div 0,2 \%$;
- робочі еталонні гири 4-го розряду згідно з ДСТУ 3381-96 з діапазоном вимірювань від 0,001 до 20 кг з довірчою абсолютною похибкою $\delta = (1,5 \cdot 10^{-2} \div 75)$ мг за довірчої імовірності 0,95.

Робочі еталони, запозичені з інших повірочних схем, застосовують для перевірки робочих еталонів методом прямих вимірювань з довірчою відносною похибкою δ_v від 0,2 до 1,5 %.

Як робочі еталони застосовують:

- робочі еталонні радіонуклідні джерела α -, β -, фотонного випромінювання у діапазоні від 10 до 10^{10} Бк;
- робочі еталонні радіонуклідні розчини в діапазоні від 10^9 до 10^{14} Бк \cdot м $^{-3}$;
- робочі еталонні радіометричні установки в діапазоні від 10^6 до 10^{18} Бк \cdot м $^{-3}$;
- робочі еталонні радіонуклідні джерела спеціального призначення в діапазоні від $5 \cdot 10^3$ до 10^{15} Бк \cdot кг $^{-1}$;
- робочі еталонні джерела радія-226 в діапазоні від $3,7 \cdot 10^6$ до $3,7 \cdot 10^9$ Бк.

Довірча відносна похибка δ_v робочих еталонів знаходиться у межах від 1 % до 7 %.

Вторинні еталони були створені у 1971 році та використовувалися донині у ДП «Київстандартметрологія». Але оскільки строк служби наборів еталонних джерел завершується, це спричинює необхідність їх заміна на нові комплекти α -джерел.

Формулювання цілей статті

Тому метою наукової роботи є дослідження метрологічних характеристик джерел α -випромінювання проводиться з метою заміни комплекту джерел, що входять до складу вторинного еталону (1971 року виготовлення), новим комплектом α -джерел. За результатами експериментальних досліджень джерел α -випромінювання, визначається придатність їх до застосування у складі вторинного еталону ВЕТУ 12-02-01-98.

Для реалізації цієї мети в науковій роботі вирішувалися такі завдання:

1. Визначення активності джерел α -випромінювання та обчислення розширеної невизначеності.
2. Контроль рівномірності зовнішнього випромінювання джерел α -випромінювання.

Виклад основного матеріалу

Працівниками ДП «КИЇВСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» проводилося дослідження метрологічних характеристик джерел альфа-випромінювання з метою заміни комплекту джерел, що входять до складу вторинного еталону 1971 року виготовлення на новий комплект джерел α -випромінювання. Для проведення досліджень використовувалися джерела типу 1П9, 2П9, 3П9, 4П9, 5П9, 6П9, що забезпечують діапазон активності від 10 Бк до 10^6 Бк, комплект технічної документації. Для визначення характеристик цих джерел випромінювання потрібне відповідне та добре відкаліброване обладнання для надійних вимірювань [2]. Шляхом експериментальних досліджень джерел α – випромінювання визначалася відповідність їх метрологічних характеристик вимогам нормативних документів та придатність їх до застосування як складових вторинного еталону. Експериментальні дослідження проводилися з метою визначення активності джерел та розширеної невизначеності джерел α -випромінювання, встановлення їх кількісних значень у відповідності з методикою калібрування МК-IR-02:2020 «Джерела іонізуючого випромінювання» та ТУ 95 417-083 в послідовності згідно таблиці 1.

Всі вимірювання проводилися в нормальних умовах, а саме:

- температура навколишнього середовища – від 15 до 25°C;
- відносна вологість повітря – від 30 до 80%;
- атмосферний тиск – від 86 до 106 кПа.
- потужність еквівалентної дози на робочому місці не більше 0,25 мкЗв/ч.

Таблиця 1

Засоби вимірювальної техніки, використані для визначення номенклатури метрологічних характеристик джерел альфа-випромінення вторинного еталону

№	Назви робіт	Засоби вимірювальної техніки для проведення робіт
1	Зовнішній огляд	-
2	Підготовка робочого місця та обладнання до роботи з	Гігрометр психрометричний ВИТ-1 Барометр, дозиметр ДРГ-ОТ
3	Визначення активності альфа-джерел та довірчої границі похибки	Установка УДИС-01, У ДИС-02 Вторинний еталон ВЕТУ 12-02-01-98, Плоскі джерела альфа-випромінення ІП9-6П9
4	Контроль рівномірності зовнішнього випромінення радіонукліду плутон ій-239	дозиметр-радіометр МКС-АТ1117М з блоками детектування БДПА-01 та БДПА-03 Діафрагма, плоскі джерела альфа-випромінення ІП9-6П9

Роботи по експлуатації та технічному обслуговуванню обладнання та джерел альфа-випромінення проводяться у відповідності з вимогами "Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97)" [3] та вимог інструкції "Радіаційна безпека при поводженні з джерелами іонізуючого випромінення" [4].

Для проведення експериментальних досліджень джерел α -випромінення використовувався вторинний еталон активності альфа-випромінення ВЕТУ 12-02-01-98, дозиметр-радіометр МКС-АТ1117М з блоками детектування БДПА-01 (компаратор) та БДПА-03 (компаратор) та технологічне обладнання, які калібровані в установленому порядку.

Першим етапом був зовнішній огляд джерел α -випромінення: перевірка маркування, зовнішнього вигляду кожного джерела відповідно до технічної документація. При цьому була встановлена відповідність джерела вимогам щодо відсутності механічних пошкоджень та чітке маркування [5].

Визначення метрологічних характеристик джерел альфа-випромінення відбувалося шляхом визначення активності альфа-джерел та розширеної невизначеності (коефіцієнт охоплення стандартно приймається $k = 2$) [6]. Дослідження проводиться за методикою МК-ІР-02:2020 "Джерела іонізуючого випромінювання"[7].

Контроль рівномірності зовнішнього випромінення джерел альфа-випромінення. Дослідження проводився за методикою визначеною ТУ 95 417-083 з застосуванням спеціальної діафрагми, що входить в комплектацію робочого місця. Рівномірність зовнішнього випромінення повинна відповідати вимогам та бути не гірше 80 %.

Для кожної i -ї серії вимірювання обчислюється відношення R_i швидкості рахування імпульсів від джерела, n_{xi} , і еталонного джерела n_{ei} з поправками на фон. Активність еталонного джерела $A_{ет}$ на дату складання протоколу результатів вимірювання.

Формули, використані для розрахунку невизначеності результатів вимірювання метрологічних характеристик закритих джерел [8] альфа-випромінення вторинного еталону, подані в таблиці 2.

Таблиця 2

Формули розрахунку невизначеності результатів вимірювання метрологічних характеристик джерел α -випромінення вторинного еталону

Параметри розрахунку невизначеності результатів вимірювання метрологічних характеристик джерел α -випромінення вторинного еталону	Формула визначення
Відношення R_i швидкості рахування імпульсів	$R_i = \frac{(n_{xi} - n_{\phi i})}{(n_{ei} - n_{\phi i})}$
Середнє арифметичне значення відношення швидкостей рахування імпульсів	$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i$
Невизначеність, що пов'язана з розсіюванням показів від джерела, що калібрують, та еталонного джерела по типу А	$\frac{u_A(\bar{R})}{\bar{R}} = \frac{1}{\bar{R}} \sqrt{\frac{1}{m(m-1)} \sum_{i=1}^m (R_i - \bar{R})^2}$
Невизначеність, що вноситься еталоном	$\frac{u_B(A)}{A} = \frac{U_{ет}}{2}$
Невизначеність коригуючого коефіцієнта на розпад джерела	$\frac{u_B(K_\lambda)}{K_\lambda} = \frac{\Delta_\lambda}{2\sqrt{3}}$
Невизначеність коригуючого коефіцієнта на систематичну похибку компаратора	$\frac{u_B(K_K)}{K_K} = \frac{\Delta_K}{\sqrt{3}}$

Сумарна невизначеність вимірювання	$\frac{u_c(A_x)}{A_x} = \sqrt{\frac{u_A(\bar{R})^2}{\bar{R}} + \frac{u_B(A_e)^2}{A_e} + \frac{u_B(K_\lambda)^2}{K_\lambda} + \frac{u_B(K_K)^2}{K_K}}$
Розширена невизначеність U калібрування (коefficient охоплення стандартно приймається k = 2)	$U = k \times u_c$
Визначення активності	$A_x = A_e \times \bar{R} \times K_K \times K_\lambda$

Результати розрахунку невизначеності результатів вимірювання метрологічних характеристик джерел α -випромінювання вторинного еталону подано в таблиці 3

Таблиця 3

Невизначеність результатів вимірювання метрологічних характеристик джерел -випромінювання вторинного еталону

Тип джерела	$A_{ет, Бк}$	\bar{R}, c^{-1}	$\frac{u_A(\bar{R})}{\bar{R}}$	$\frac{u_B(A)}{A}$	$\frac{u_B(K_\lambda)}{K_\lambda}$	$\frac{u_B(K_K)}{K_K}$	$\frac{u_c(A_x)}{A_x}$	$U, \%$	$A_x, Бк$
1П9-251*	18,0	1,141	0,20	1,00	0,58	0,69	1,36	2,72	15,9
1П9-11**									
1П9-252*	211	1,007	0,24	1,00	0,58	0,69	1,37	2,74	213
1П9-12**									
1П9-253*	2100	0,904	0,06	1,00	0,58	0,69	1,35	2,70	1900
1П9-13**									
1П9-254*	22400	1,472	0,03	1,00	0,58	0,69	1,35	2,69	33000
1П9-14**									
2П9-251*	21,0	1,210	0,22	1,00	0,58	0,69	1,36	2,73	25,0
2П9-11**									
2П9-252*	228	1,010	0,05	1,00	0,58	0,69	1,35	2,69	230
2П9-12**									
2П9-253*	2040	1,247	0,12	1,00	0,58	0,69	1,35	2,70	2540
2П9-13**									
2П9-254*	23600	1,153	0,01	1,00	0,58	0,69	1,35	2,69	27200
2П9-14**									
3П9-251*	21,1	1,201	0,27	1,00	0,58	0,69	1,37	2,75	25,3
3П9-11**									
3П9-252*	229	1,094	0,17	1,00	0,58	0,69	1,36	2,71	251
3П9-12**									
3П9-253*	2470	1,067	0,02	1,00	0,58	0,69	1,35	2,69	2640
3П9-13**									
3П9-254*	23400	1,324	0,10	1,00	0,58	0,69	1,35	2,70	31000
3П9-14**									
4П9-251*	21,4	1,182	0,14	1,00	0,58	0,69	1,35	2,71	25,3
4П9-11**									
4П9-252*	202	1,242	0,13	1,00	0,58	0,69	1,35	2,71	251
4П9-12**									
4П9-253*	2320	1,150	0,02	1,00	0,58	0,69	1,35	2,69	2670
4П9-13**									
4П9-254*	22100	1,116	0,10	1,00	0,58	0,69	1,35	2,70	24700
4П9-14**									
5П9-251*	213	0,129	0,16	1,00	0,58	0,69	1,36	2,71	27,4
5П9-12**									
5П9-252*	213	1,218	0,08	1,00	0,58	0,69	1,35	2,70	259
5П9-12**									
5П9-253*	2380	1,004	0,06	1,00	0,58	0,69	1,35	2,70	2390
5П9-13**									
5П9-254*	22700	0,9261	0,07	1,00	0,58	0,69	1,35	2,70	21000
5П9-14**									
5П9-255*	239000	1,3452	0,36	1,00	0,58	0,69	1,39	2,79	322000
5П9-15**									
6П9-251*	22,0	1,2750	0,23	1,00	0,58	0,69	1,37	2,73	28,1
6П9-11**									
6П9-252*	224	1,0478	0,17	1,00	0,58	0,69	1,36	2,72	235
6П9-12**									
6П9-253*	2400	1,0738	0,10	1,00	0,58	0,69	1,35	2,70	2580
6П9-13**									
6П9-254*	22600	1,1736	0,07	1,00	0,58	0,69	1,35	2,70	26500
6П9-14**									
6П9-255*	22600	10,6538	0,16	1,00	0,58	0,69	1,36	2,71	2410000
6П9-14**									

* - джерело, що калібрується; ** - еталонне джерело.

Контроль рівномірності зовнішнього випромінювання джерел альфа-випромінювання проводиться з використанням такого обладнання: дозиметр-радіометр МКС-АТ1117М з блоками детектування БДПА-01 та БДПА-03. Рівномірність зовнішнього випромінювання визначається за формулою

$$\chi = \left(1 - \max \frac{|n_k - \frac{1}{m_k} \sum n_k|}{\frac{1}{m_k} \sum n_k} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

В результаті експерименту були отримані такі результати контролю рівномірності зовнішнього випромінювання джерел α -випромінювання, що входять до складу вторинного еталону, подані в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати контролю рівномірності зовнішнього випромінювання джерел α -випромінювання, що входять до складу вторинного еталону

m_k	Положення джерела відносно вихідного положення в куті 2л, в градусах	Швидкість відліку n_1 альфа-частинок за винятком фону, c^{-1}	Швидкість відліку n_2 альфа-частинок за винятком фону, c^{-1}	Швидкість відліку n_3 альфа-частинок за винятком фону, c^{-1}	Швидкість відліку n_4 альфа-частинок за винятком фону, c^{-1}	Швидкість відліку n_5 альфа-частинок за винятком фону, c^{-1}	Σn_k	$ n_k - \frac{1}{m_k} \sum n_k $	
Контроль рівномірності зовнішнього випромінювання альфа джерела 5П9-253									
1	0	30,82	30,63	31,43	30,32	31,07	30,854	0,391	
2	45	31,62	31,31	31,23	31,11	30,45	31,144	0,101	
3	90	30,72	30,87	31,28	29,79	30,50	30,632	0,613	
4	135	31,84	33,25	31,96	33,32	33,24	32,350	-1,105	
5	180	29,78	29,43	29,59	31,23	29,52	29,910	1,335	
6	225	30,45	30,18	29,19	30,32	30,3	30,088	1,157	
7	270	32,75	32,45	31,76	32,67	31,51	32,345	-1,100	
8	315	32,48	32,23	33,94	32,14	32,40	32,638	-1,393	
Рівномірність зовнішнього випромінювання, % - 95,5							31,245	1,393	
Контроль рівномірності зовнішнього випромінювання альфа джерела 5П9-254									
1	0	286,0	288,1	290,3	282,6	284,9	286,38	2,200	
2	45	307,8	308,2	309,5	307,4	306,5	307,88	-19,300	
3	90	276,2	272,4	271,9	272,5	274,4	273,48	15,100	
4	135	293,0	291,8	288,7	293,9	293,6	292,20	-3,620	
5	180	295,1	292,6	291,5	291,5	289,2	291,98	-3,400	
6	225	298,0	296,0	299,2	291,9	295,4	296,10	-7,520	
7	270	278,1	277,8	276,0	274,4	276,3	276,52	12,060	
8	315	285,1	284,1	281,9	285,1	284,3	284,10	4,480	
Рівномірність зовнішнього випромінювання, %							93,3	288,580	19,300
Контроль рівномірності зовнішнього випромінювання альфа джерела 6П9-253									
1	0	22,80	21,77	21,08	22,06	21,69	21,880	-0,899	
2	45	21,45	22,35	22,19	22,44	22,82	22,250	-1,269	
3	90	18,79	17,75	18,50	18,34	18,42	18,360	2,621	
4	135	18,61	20,05	20,34	19,80	18,65	19,490	1,491	
5	180	21,21	19,92	20,64	21,94	21,95	21,132	-0,151	
6	225	23,72	21,47	23,01	22,70	22,38	22,656	-1,675	
7	270	20,81	19,88	21,16	21,30	20,09	20,648	0,333	
8	315	21,80	21,70	20,83	20,60	22,23	21,432	-0,451	
Рівномірність зовнішнього випромінювання, %							87,5	20,981	2,621
Контроль рівномірності зовнішнього випромінювання альфа джерела 6П9-254									
1	0	236,63	240,09	240,30	240,26	237,38	238,932	-10,650	
2	45	222,27	221,09	224,23	220,87	222,85	222,262	6,020	
3	90	231,42	232,41	227,35	234,00	228,41	230,718	-2,436	
4	135	224,19	225,69	224,30	222,45	222,28	223,782	4,500	
5	180	231,87	233,58	235,34	234,66	232,62	233,614	-5,332	
6	225	231,10	229,40	228,32	226,76	231,94	229,504	-1,222	
7	270	219,25	218,12	217,57	217,88	224,12	219,388	8,894	
8	315	229,36	229,43	226,45	226,58	228,45	228,054	0,228	
Рівномірність зовнішнього випромінювання, %							95,3	228,282	10,650
Контроль рівномірності зовнішнього випромінювання альфа джерела 6П9-255									
1	0	1835,8	1839,1	1883,1	1878,8	1821,3	1851,62	101,908	
2	45	1984,2	2029,7	2035,6	1972,6	1994,4	2003,30	-49,772	
3	90	1931,8	1959,1	1947,7	1931,0	1908,4	1935,60	17,928	
4	135	2072,6	2063,4	2073,9	2063,1	2092,0	2073,00	-119,473	
5	180	2022,0	2040,1	2003,3	2002,6	1983,3	2010,26	-56,732	
6	225	2069,0	2018,7	2026,1	2004,9	2005,6	2024,86	-71,332	
7	270	1862,4	1850,4	1886,5	1863,6	1885,9	1869,76	83,768	
8	315	1856,2	1878,0	1845,9	1850,3	1868,7	1859,82	93,708	
Рівномірність зовнішнього випромінювання, %							93,9	1953,528	119,473

m_k	Положення джерела відносно вихідного положення в куті 2θ , в градусах	Швидкість відліку n_1 альфа-частинок за винятком фону, c^{-1}	Швидкість відліку n_2 альфа-частинок за винятком фону, c^{-1}	Швидкість відліку n_3 альфа-частинок за винятком фону, c^{-1}	Швидкість відліку n_4 альфа-частинок за винятком фону, c^{-1}	Швидкість відліку n_5 альфа-частинок за винятком фону, c^{-1}	Σn_k	$ n_k - \frac{1}{m_k} \sum n_k $
Контроль рівномірності зовнішнього випромінювання альфа джерела 4П9-253								
1	0	54,78	55,81	55,79	54,26	55,91	55,310	0,934
2	90	59,17	56,86	56,56	56,74	56,55	57,176	-0,933
3	180	56,17	55,66	55,12	55,39	54,35	55,338	0,905
4	270	57,48	56,10	58,14	57,03	57,00	57,150	-0,907
Рівномірність зовнішнього випромінювання, %					98,3	56,244		0,934
Контроль рівномірності зовнішнього випромінювання альфа джерела 4П9-254								
1	0	521,1	517,2	519,6	512,6	516,4	517,38	17,390
2	90	519,2	518,6	518,3	511,2	513,3	516,12	18,650
3	180	552,1	550,9	557,1	555,4	553,2	553,74	-18,970
4	270	551,8	553,3	554,3	548,4	551,4	551,84	-17,070
Рівномірність зовнішнього випромінювання, %					96,5	534,770		18,970

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Отже, за результатами проведених експериментальних досліджень встановлено, що метрологічні характеристики комплексу джерел 1П9-6П9 відповідають вимогам ТУ 95477-083, задовольняють вимоги ДСТУ 3743-98. Тому комплекти джерел α -випромінювання 1П9-6П9 можуть бути використані як міри активності α -випромінювання, що використовуються для комплектації вторинного еталону ВЕТУ 12-02-01- 98.

Література

1. ДСТУ 3743-98. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань активності, питомої активності та об'ємної активності радіонуклідів / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Чинний від 1998-05-26]. – Київ: Держстандарт України, 1998. – 20 с.
2. V. Lacoste, Review of radiation sources, calibration facilities and simulated workplace fields. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2010.05.036>
3. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ – 97) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>
4. Вимоги та умови безпеки (ліцензійні умови) провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0978-02#Text>
5. МВ 12-01:2014 Інструкція з технічного обслуговування джерел іонізуючого випромінювання. Випробування радіонуклідних джерел іонізуючого випромінювання з метою визначення їх технічних характеристик та перевірки на герметичність.
6. Stump, K.E., DeWerd, L.A., Micka, J.A. and Anderson, D.R. (2002), Calibration of new high dose rate sources. Med. Phys., 29: 1483-1488. <https://doi.org/10.1118/1.1487860>
7. МК-IR-02:2020 Джерела іонізуючого випромінювання. Методика калібрування.
8. Технічний регламент закритих джерел іонізуючого випромінювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1382-2007-%D0%BF#Text>

References

1. DSTU 3743-98. Metrolohiia. Derzhavna povirochna skhema dlia zasobiv vymiriuvan aktyvnosti, pytomoї aktyvnosti ta ob'ємnoї aktyvnosti radionuklidiv / Nats. standart Ukrainy. – Vyd. ofits. – [Chynnyi vid 1998-05-26]. – Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 1998. – 20 s.
2. V. Lacoste, Review of radiation sources, calibration facilities and simulated workplace fields. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2010.05.036>
3. Normy radiatsiinoї bezpeky Ukrainy (NRBU – 97) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>
4. Vymohy ta umovy bezpeky (litsenziini umovy) provadzhennia diialnosti z vykorystannia dzherel ionizuiuchoho vyprominiuvannia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0978-02#Text>
5. MV 12-01:2014 Instruksiia z tekhnichnoho obsluhovuvannia dzherel ionizuiuchoho vyprominiuvannia. Vyprobuvannia radionuklidnykh dzherel ionizuiuchoho vyprominiuvannia z metoiu vyznachennia yikh tekhnichnykh kharakterystyk ta perevirky na hermetichnist.
6. Stump, K.E., DeWerd, L.A., Micka, J.A. and Anderson, D.R. (2002), Calibration of new high dose rate sources. Med. Phys., 29: 1483-1488. <https://doi.org/10.1118/1.1487860>
7. МК-IR-02:2020 Dzherela ionizuiuchoho vyprominiuvannia. Metodyka kalibruvannia.
8. Tekhnichniy rehlament zakrytykh dzherel ionizuiuchoho vyprominiuvannia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1382-2007-%D0%BF#Text>