

УДК 539.1.073

DOI: 10.31471/1993-9981-2021-2(47)-22-33

ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО МЕТОДИКИ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ЗАКРИТИХ ДЖЕРЕЛ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЕННЯ

Р.В. Берестов¹, Н.Є. Гоц²

¹ДП «КІЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» вул. Січневого прориву, 84, м. Біла Церква, 09113, Україна, e-mail: rvberestov@gmail.com

²Національний університет «Львівська політехніка» вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна, e-mail: nataliia.y.hots@lpnu.ua

Сьогодні в різних сферах господарки України використовуються джерела іонізуючого α -, β -, та γ - випромінювання. Строк їх служби встановлюється виробником з моменту їх виготовлення та визначає тривалість використання джерела іонізуючого випромінювання.

Згідно чинного законодавства України відпрацьовані джерела іонізуючого випромінювання, у яких закінчився строк служби, підлягають передачі до спеціалізованих підприємств з поводження з радіоактивними відходами та утилізації. У разі підтвердження факту збереження радіаційних характеристик, герметичності та відсутності дефектів та їх ознак на закритому джерелі іонізуючого випромінювання, його строк служби може бути продовжений. Але законодавство не регламентує умови продовження строку служби, та як наслідок тривалості їх експлуатації.

Метою цієї статті є формування вимог до методики продовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінювання. Для цього в статті авторами були вирішені такі завдання: проведений огляд джерел іонізуючого випромінювання та їх використання в промисловості; сформовано загальну класифікацію іонізуючого випромінювання за різними класифікаційними ознаками; проведений аналіз робіт, які впливають на встановлення терміну використання джерел іонізуючого випромінювання; розроблено загальні вимоги та алгоритм методики продовження строку служби джерел іонізуючого випромінювання.

Встановлення строку служби виробником з моменту виготовлення джерела іонізуючого випромінювання, відбувається за умови його відповідності своєму призначенню та основним технічним вимогам стандартів та вимогам до герметичності його конструкції, яка за належних умов експлуатації має забезпечувати радіаційну безпеку в місцях експлуатації та зберігання джерела.

Оцінювання відповідності джерел іонізуючого випромінювання відбувається згідно вимог «Технічного регламенту закритих джерел іонізуючого випромінювання».

Метрологічна перевірка джерел іонізуючого випромінювання відбувається відповідно до вимог затвердженої «Методики калібрування джерел іонізуючого випромінювання» шляхом визначення таких метрологічних характеристик як активність джерела іонізуючого випромінювання, потік частинок в куті 2л та питомої або об'ємної активності.

В статті авторами сформовані вимоги та запропонований алгоритм методики продовження строку служби джерел іонізуючого випромінювання на основі опрацювання результатів їх калібрування з використанням контрольних карт. Використання методу контрольних карт дає змогу не тільки прийняти рішення про продовження експлуатації та строку служби джерела іонізуючого випромінювання, але й визначити тривалість продовженого строку служби джерела.

Ключові слова: джерело іонізуючого випромінювання, строк служби, контрольна карта, калібрування.

Сегодня в разных сферах промышленности Украины используются источники ионизирующего α -, β - и γ -излучения. Срок службы устанавливается производителем с момента их изготовления и определяет продолжительность использования источника ионизирующего излучения.

Согласно действующему законодательству Украины отработанные источники ионизирующего излучения, в которых истек срок службы, подлежат передаче в специализированные предприятия по обращению с радиоактивными отходами и утилизации. В случае подтверждения факта сохранения радиационных характеристик, герметичности и отсутствия дефектов и их признаков на закрытом источнике ионизирующего излучения его срок службы может быть продлен. Но законодательство не регламентирует условия продления срока службы, и как следствие продолжительности их эксплуатации.

Целью настоящей статьи является формирование требований к методике продления срока службы закрытых источников ионизирующего излучения. Для этого в статье авторами были решены следующие задачи: произведен обзор источников ионизирующего излучения и использование их в промышленности; сформирована общая классификация ионизирующего излучения по разным классификационным признакам; проведен анализ работ, влияющих на установление срока использования источников ионизирующего излучения; разработаны общие требования и алгоритм методики продления срока службы источников ионизирующего излучения.

Установка срока службы изготовителем с момента изготовления источника ионизирующего излучения происходит при условии его соответствия своему назначению и основным техническим требованиям стандартов и требованиям к герметичности его конструкции, которая при надлежащих условиях эксплуатации должна обеспечивать радиационную безопасность в местах эксплуатации и хранения источника.

Оценка соответствия источников ионизирующего излучения производится согласно требованиям «Технического регламента закрытых источников ионизирующего излучения».

Метрологическая проверка источников ионизирующего излучения происходит в соответствии с требованиями утвержденной «Методики калибровки источников ионизирующего излучения» путем определения таких метрологических характеристик как активность источника ионизирующего излучения, поток частиц в угол 2π и удельной или объемной активности.

В статье авторами сформированы требования и предложен алгоритм методики продления срока службы источников ионизирующего излучения на основе обработки результатов их калибровки с использованием контрольных карт. Использование метода контрольных карт позволяет не только принять решение о продлении эксплуатации и сроке службы источника ионизирующего излучения, но и определить продолжительность продленного срока службы источника.

Ключевые слова: источник ионизирующего излучения, срок службы, контрольная карта, калибровка.

Today, sources of ionizing α -, β - and γ -radiation are used in various spheres of the Ukrainian economy. Their service life is set by the manufacturer from the moment of their manufacture and determines the duration of use of the source of ionizing radiation.

According to the current legislation of Ukraine, spent sources of ionizing radiation, which have expired, are subject to transfer to specialized enterprises for radioactive waste management and disposal. If the fact of preservation of radiation characteristics, tightness and absence of defects and their signs on the closed source of ionizing radiation is confirmed, its service life can be extended. But the legislation does not regulate the conditions for extending the service life, and as a consequence of the duration of their operation.

The purpose of this article is to form requirements for the method of extending the service life of closed sources of ionizing radiation. To do this, the authors of the article solved the following tasks: a review of sources of ionizing radiation and their use in industry; the general classification of ionizing radiation on various classification signs is formed; the analysis of works influencing establishment of term of use of sources of ionizing radiation is carried out; the general requirements and algorithm of a technique of prolongation of service life of sources of ionizing radiation are developed.

Establishment of service life by the manufacturer from the moment of manufacture of a source of ionizing radiation occurs under condition of its conformity to the purpose and the basic technical requirements of standards and requirements to tightness of its design which under proper operating conditions should provide radiation safety in places of operation and storage.

Conformity assessment of ionizing radiation sources is carried out in accordance with the requirements of the "Technical Regulations for Closed Ionizing Radiation Sources".

Metrological verification of ionizing radiation sources is performed in accordance with the requirements of the approved "Method of calibration of ionizing radiation sources" by determining such metrological characteristics as the activity of the ionizing radiation source, particle flux at an angle of 2π and specific or volumetric activity.

The authors formulate the requirements and propose an algorithm of the method of extending the service life of ionizing radiation sources based on the processing of the results of their calibration using control charts. Using the method of control cards allows not only to decide on the continuation of operation and service life of the source of ionizing radiation, but also to determine the duration of the extended service life of the source.

Key words: ionizing radiation source, service life, control card, calibration.

Вступ

В промисловості, медичній практиці та наукових дослідженнях використовуються різні види закритих джерел іонізуючого α -, β - та γ -випромінювання (надалі – ДІВ). Строк служби таких джерел встановлюється виробником та визначає термін можливого використання конкретного джерела з моменту його виготовлення.

У разі закінчення строку служби використання джерела іонізуючого випромінювання повинно бути зупинене. Це спричинено такими небезпечними ситуаціями, які несуть загрозу здоров'ю та життю людей. Джерела іонізуючого випромінювання, в яких закінчився строк служби, можуть становити небезпеку здоров'ю працівників підприємств, які виконують роботи, пов'язані з експлуатацією таких джерел, а також населенню і навколишньому природному середовищу. Крім того, відпрацьовані джерела можуть використовуватися у злочинних цілях. Експлуатація ДІВ, в яких закінчився строк служби може призвести до виникнення радіаційної аварії - події, внаслідок якої втрачається контроль над джерелом іонізуючого випромінювання, і яка може призвести до радіаційного впливу на людей та навколишнє природне середовище, що перевищує допустимі межі, встановлені нормами, правилами і стандартами з безпеки [1].

За вимогами законодавства та нормативно-правових актів України, відпрацьовані джерела іонізуючого випромінювання, у яких закінчився строк служби, підлягають передачі до спеціалізованих підприємств з поводження з радіоактивними відходами для подальшої їх утилізації.

За даними [1] в Україні у технологічних процесах, під час проведення пошуково-дослідних, випробувальних, діагностичних та інших робіт використовується або зберігається протягом значного періоду (10 та більше років) близько 1 тисячі відпрацьованих високоактивних джерел іонізуючого випромінювання. До таких ДІВ належать вироблені у період до 1990 р. високоактивні ДІВ, які призначені для використання в опромінювальних, терапевтичних, вимірювальних діагностичних установках, а також термоелектричних генераторах.

Необхідно зазначити, що у разі підтвердження факту збереження радіаційних характеристик, герметичності та відсутності дефектів та їх ознак на закритому ДІВ, його строк служби може бути продовжений в установленому законодавством порядку, що визначено в нормативно-правовому документі України «Технічний регламент закритих джерел іонізуючого випромінювання» [2].

Але законодавство України не регламентує методику, за якою строк служби закритого джерела іонізуючого випромінювання може бути продовжений.

Тому метою даної статті є формування вимог до методики продовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінювання.

Для реалізації цієї мети авторами були вирішені такі завдання:

- проведений огляд закритих джерел іонізуючого різних випромінювання, які використовуються промисловістю України;
- проведений аналіз робіт, які впливають на встановлення терміну використання закритих джерел іонізуючого випромінювання;
- сформовані вимоги до методики продовження строку служби закритих ДІВ на основі результатів калібрування.

Огляд джерел іонізуючого випромінювання різних видів.

До джерел іонізуючого випромінювання відносяться об'єкти, окрім ядерних установок, які містять радіоактивну речовину та технічні пристрої, які можуть створювати іонізуюче випромінювання за певних умов. Загальну класифікацію ДІВ за різними класифікаційними ознаками сформовано в таблиці 1 [3,4].

Розглянемо докладніше окремі види ДІВ.

Природними джерелами іонізуючого випромінювання є космічні промені, а також радіоактивні речовини, які знаходяться в земній корі. Штучними ДІВ є ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок, рентгенівські установки, штучні радіоактивні ізотопи тощо.

В промисловості використовуються два конструктивно відмінних види джерел іонізуючого випромінювання – відкриті ДІВ та закриті ДІВ. .

Відкриті ДІВ - під час їх використання можливе розповсюдження радіоактивних речовин у робочих приміщеннях, на робочих поверхнях або навколишньому природному середовищі (наприклад радіофармацевтичні препарати, радіоактивні розчини, що використовуються під час калібрування, у наукових дослідженнях; радіохімічні препарати,

що використовуються в радіохімічних лабораторіях, тощо).

Закриті ДІВ містять радіоактивну речовину, повністю упаковану у тверду захисну оболонку з нерадіоактивного матеріалу та/або інкапсульовану у достатньо міцну захисну оболонку для запобігання витоку речовини за належних умов експлуатації протягом установленого строку служби, а також у

непередбачених умовах, яка є складовою частиною такого джерела. Будова закритих ДІВ виключає можливість потрапляння радіонуклідів, які входять в їх склад, в навколишнє середовище, в умовах їх застосування на які вони розраховані. В подальшому в цій статті йдеться лише про закриті ДІВ.

Таблиця 1 - Загальна класифікація ДІВ

Класифікаційна ознака	Різновиди
за походженням	<ul style="list-style-type: none"> • природні • штучні (антропогенні);
за природою	<ul style="list-style-type: none"> • радіонуклідні • не радіонуклідні;
за будовою	<ul style="list-style-type: none"> • закриті • відкриті
за радіонуклідним складом	<ul style="list-style-type: none"> • α- випромінювачі • β- випромінювачі • γ- випромінювачі
за активністю	<ul style="list-style-type: none"> • низькоактивні • високоактивні
за застосуванням	<ul style="list-style-type: none"> • промислові • ядерні • енергетичні • медичні • науково-технічні
метрологічного призначення	<ul style="list-style-type: none"> • еталонні • контрольні
за мобільністю	<ul style="list-style-type: none"> • стаціонарні • пересувні • переносні
за геометричними розмірами	<ul style="list-style-type: none"> • плоскі • об'ємні • точкові

Розглянемо докладніше окремі види ДІВ.

Природними джерелами іонізуючого випромінювання є космічні промені, а також радіоактивні речовини, які знаходяться в земній корі. Штучними ДІВ є ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок, рентгенівські установки, штучні радіоактивні ізотопи тощо.

В промисловості використовуються два конструктивно відмінних види джерел іонізуючого випромінювання – відкриті ДІВ та закриті ДІВ. .

Відкриті ДІВ - під час їх використання можливе розповсюдження радіоактивних речовин у робочих

приміщеннях, на робочих поверхнях або навколишньому природному середовищі (наприклад радіофармацевтичні препарати, радіоактивні розчини, що використовуються під час калібрування, у наукових дослідженнях; радіохімічні препарати, що використовуються в радіохімічних лабораторіях, тощо).

Закриті ДІВ містять радіоактивну речовину, повністю упаковану у тверду захисну оболонку з нерадіоактивного матеріалу та/або інкапсульовану у достатньо міцну захисну оболонку для запобігання витоку речовини за належних умов експлуатації протягом

установленого строку служби, а також у непередбачених умовах, яка є складовою частиною такого джерела. Будова закритих ДІВ виключає можливість потрапляння радіонуклідів, які входять в їх склад, в навколишнє середовище, в умовах їх застосування на які вони розраховані. В подальшому в цій статті йдеться лише про закриті ДІВ.

Конструктивно ДІВ можуть бути:

- джерела альфа-випромінювання представляють собою підкладки товщиною 1,1 мм, на робочу поверхню яких (заглиблення) нанесений шар радіоактивного препарату, захищений плівкою оксиду металу.

- джерела бета-випромінювання представляють собою підкладку товщиною $1,5 \pm 0,2$ мм, на робочу поверхню якої (заглиблення) нанесено шар радіоактивного препарату, захищений алюмінієвою фольгою.

Стационарні ДІВ мають конструкцію, яка передбачає їх експлуатацію на протязі всього терміну роботи на постійному місці, для розміщення та експлуатації яких необхідні спеціально обладнанні приміщення і додаткові технічні системи та засоби.

Пересувні ДІВ змонтовані та використовуються за призначенням на транспортних засобах.

Переносні ДІВ, в яких конструкція та маса складових блоків (складових частин) дозволяють їх переносити (або у випадку необхідності перевозити, в тому числі і в зібраному вигляді) і використовувати за призначенням безпосередньо на місці проведення робіт в приміщеннях (без переобладнання та підсилення захисту приміщень) чи в польових умовах.

При калібруванні спектрометрів α - , β - , γ - випромінювання, використовують ДІВ метрологічного призначення, до яких відносяться [5]:

- еталонні ДІВ, а також джерела технічного призначення, атестовані в якості еталонних, з дотриманням установлених метрологічних вимог. Еталонні джерела використовуються при повірці та калібрування радіаційної, ядерно-фізичної апаратури.

- гонтольні ДІВ, що входять до складу засобів вимірювальної техніки і призначені для контролю їх метрологічних характеристик.

Номенклатура закритих радіонуклідних джерел спеціального призначення, які можуть використовуватися для метрологічного призначення, наведена в таблиці 2 [6].

Галузі, в яких використовуються штучні джерела іонізуючого випромінювання показані в таблиці 3.

Закриті джерелі іонізуючого випромінювання поділяються на п'ять основних категорій [7] згідно таблиці 4. Значення А характеризує активність на момент виготовлення закритого джерела. Значення D характеризує активність закритого джерела, яке у разі його не перебування під регулюючим контролем може призвести до опромінення, достатнього для виникнення серйозних наслідків.

До основних метрологічних характеристик ДІВ відносяться:

- активність радіонукліда;
- період напіврозпаду.

Активність радіоактивного джерела – це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в певному радіоактивному джерелі за секунду. Одиниця активності в СІ – бекерель. Визначити активність джерела можна к за допомогою спектрометрів α - , β - , γ - випромінювання, так і розрахувати за піврозпадом від паспортного значення джерела.

Період піврозпаду $T_{1/2}$ – це фізична величина, що характеризує радіонуклід і дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер даного радіонукліда. В кожного радіонукліда свій період піврозпаду.

Закриті ДІВ завозяться в Україну з-за кордону, в нашій країні виробляються лише окремі екземпляри.

Отже, закриті ДІВ – це широкий спектр засобів вимірювальної техніки, який широко використовується в промисловості.

Можливість продовження строку служби закритих ДІВ, щодо яких може бути підтверджений факт збереження радіаційних характеристик, герметичності та відсутності дефектів та їх ознак, дозволить продовжити безпечно їх використання в різних галузях промисловості та принесе значний економічний ефект внаслідок продовження використання ДІВ

та зменшення витрат на утриманням та зберіганням протермінованих ДІВ, зокрема:

Таблиця 2 – Номенклатура закритих радіонуклідних джерел

№ з/п	Тип ДІВ	Призначений термін експлуатації	Рівні поверхневих забруднень
1	Джерела альфа-випромінювання із ^{239}Pu , ^{234}U , ^{238}U типів 1П9, 2П9, 3П9, 4П9, 5П9, 6П9, 1У4, 2У4, 3У4, 4У4, 5У4, 6У4 1У8, 2У8, 3У8, 4У8, 5У8, 6У8	ТУ 95 477-83 2,5 р.	1 Бк при активності до 10^3 Бк 2 Бк при активності радіонуклідів більше 10^3 Бк
2	Спектрометричні альфа- джерела спеціального призначення на основі радіонуклідів: ^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{226}Ra , ^{244}Cm , $^{238}\text{Pu}+^{239}\text{Pu}+^{233}\text{U}$, тип ОСАИ	ТУ 95-703-87 3 р.	35 Бк
3	Джерела бета-випромінювання із $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, типів 1СО, 2СО, 3СО, 4СО, 5СО, 6СО,	ТУ 95 477-83 3,5 р.	10 Бк
4	Джерела бета-випромінювання спеціального призначення із ^{60}Co , ^{204}Tl , 1К0, 1Т4	ТУ 95 1000-82 1 р.	0,925 Бк
5	Спектрометричні рентгенівські та гамма-джерела спеціального призначення типу СОИРИ, ОСГИ на базі радіонуклідів ^{88}Y , ^{113}Sn , ^{139}Ce , ^{241}Am , ^{55}Fe , ^{109}Cd , ^{54}Mn , ^{207}Bi , $^{44}\text{Ti}+^{44}\text{Sc}$, ^{22}Na , ^{60}Co та інші.	ТУ 7018-001-13805076-03 ТУ-17-03-88 3 р. 5 р. 12 р.	20 Бк (по герметичності) 100 Бк або 185 Бк
6	Джерела гамма-випромінювання із ^{226}Ra , (маси ^{226}Ra) типів РА, ЕР та аналогічних	МРТУ-10-43-64 ОСТ 95-855-80 10 р.	185 Бк
7	Джерела гамма-випромінювання із ^{137}Cs , тип ИГИ-Ц тип ГС та інших типів	ТУ 95.957-82 5 р. 7 р.	185 Бк (1850 Бк кислотної витяжки)
8	Джерела гамма-випромінювання із ^{60}Co , типу ГИК, ГСО та інших типів	ТУ 95.7167-76 10 р.	185 Бк (1850 Бк кислотної витяжки)
9	Джерела гамма-випромінювання із ^{241}Am , тип ИГИА та інших типів	ТУ 95.956-84 12 р.	185 Бк (1850 Бк кислотної витяжки)

Таблиця 3 – Типові галузі використання ДІВ [3,4]

№	Області застосування закритих джерел іонізуючого випромінювання
1	Промислова радіографія: <ul style="list-style-type: none"> • закрите джерело використовується поза блоком джерела • закрите джерело використовується в блоці джерела
2	Медицина: <ul style="list-style-type: none"> • радіографія • телетерапія • внутрішньопорожнинні аплікатори • поверхневі аплікатори
3	Прилади та установки з джерелами гамма-випромінювання: <ul style="list-style-type: none"> • закрите джерело використовується поза блоком джерела • закрите джерело використовується в блоці джерела
4	Прилади з джерелами бета-випромінювання та низькоенергетичними гамма- та рентгенівськими випромінюваннями для флуоресцентного аналізу (за винятком джерел, наповнених газами)
5	Каротаж бурових свердловин
6	Переносні вологоміри і щільноміри (що переносяться в руках або транспортуються на візках)
7	Нейтронні джерела загального призначення (за винятком джерел для запуску реакторів)
8	Контрольні джерела з активністю понад 1,1 МБк
9	Радіаційні гамма-установки: <ul style="list-style-type: none"> • закрите джерело використовується поза блоком джерела • закрите джерело використовується в блоці джерела
10	Генератори іонів: <ul style="list-style-type: none"> • хроматографи • нейтралізатори • детектори диму

Таблиця 4 – Категорії закритих джерел іонізуючого випромінювання [7,9]

Категорія ДІВ	Приклади закритих ДІВ та практичної діяльності з ними	Показник відношення активності (A/D) ⁻²
1	Радіоізотопні термоелектричні генератори, опромінюючі установки, прилади та установки з радіонуклідними джерелами для променевої терапії	$A/D > 1000$
2	Радіонуклідні джерела для промислової дефектоскопії, джерела для брахітерапії з високими/середніми потужностями дози	$1000 > A/D > 10$
3	Стационарні промислові засоби вимірювань, що містять закриті високоактивні джерела, прилади для проведення геофізичних досліджень та каротажу	$10 > A/D > 1$
4	Джерела з низькими потужностями дози для брахітерапії (за винятком очних аплікаторів та довготривалих імплантантів); промислові засоби вимірювання з невисокоактивними джерелами, кісткові денситометри, нейтралізатори статичної електрики	$1 > A/D > 0,01$
5	Джерела для брахітерапії з низькими потужностями дози у вигляді очних аплікаторів та довготривалих імплантантів; прилади для рентгенофлуоресцентного аналізу, прилади електронного захвату, джерела для проведення спектрометрії, контрольні джерела та калібрувальні джерела	$0,01 > A/D$ і $A >$ рівня звільнення від регулюючого контролю

- витрат, пов'язаних з зберіганням та/або захороненням на спеціалізованому підприємстві з поводження з радіоактивними відходами;

- витрат, пов'язаних із закупівлею нових ДІВ за кордоном;

- витрат, пов'язаних з постановкою нових ДІВ на облік.

Тому розглянемо, які шляхи, які можуть бути використані для встановлення та продовження строку служби ДІВ.

Аналіз метрологічних робіт, які впливають на встановлення строку служби закритих джерел іонізуючого випромінювання

Кожне окреме закрите джерело іонізуючого випромінювання має визначений та обмежений строк служби. На тривалість експлуатації ДІВ протягом строку служби закритого ДІВ впливають такі процедури:

- встановлення виробником строку служби ДІВ, який обліковується з моменту виготовлення;

- результати оцінювання відповідності ДІВ вимогам технічних регламентів протягом строку служби;

- результати калібрування ДІВ протягом строку служби.

Встановлення строку служби закритих ДІВ.

За належних умов експлуатації ДІВ протягом установленого їх строку служби повинні виконуватися такі основні технічні вимоги:

- закриті ДІВ повинні мати конструкцію, яка за належних умов експлуатації забезпечує радіаційну безпеку в місцях експлуатації та зберігання, і проштампований реєстраційний номер на джерелі та його контейнері;

- закриті ДІВ мають виготовлятися відповідно до стандартів і технічних умов на конкретний тип закритого джерела;

- закриті ДІВ повинні бути герметично закритими;

- закриті джерела повинні відповідати своєму призначенню і основним технічним вимогам.

На основі цих вимог встановлений строк служби джерела має бути :

- не менше двох періодів напіврозпаду – для джерел на основі радіонуклідів з періодом напіврозпаду менше 0,5 року;

- не менше одного періоду напіврозпаду (але не менше 1 року) – для джерел на основі радіонуклідів з періодом напіврозпаду від 0,5 до 5 років;

- не менше 5 років – для джерел гамма- та нейтронного випромінювань на основі радіонуклідів з періодом напіврозпаду 5 і більше років.

Для джерел альфа-, бета- та рентгенівського випромінювань з періодом напіврозпаду 5 і більше років призначений термін служби встановлюють у нормативному документі (НД) на конкретний тип джерела [10].

Отже, строк служби ДІВ встановлюється виробником з дня виготовлення, та вказує на те, що протягом цього терміну виробник гарантує безпеку ДІВ та несе юридичну та фінансову відповідальність за істотні недоліки, що виникли з його вини. Ці гарантії чинні за умови, що ДІВ використовується за призначенням.

Процедура оцінки відповідності закритих ДІВ.

Оцінку відповідності закритого джерела вимогам «Технічного регламенту модулів оцінки відповідності» [8] та «Технічного регламенту закритих джерел іонізуючого випромінювання» [7] з подальшою видачею сертифіката відповідності, в якому вказаний термін дії сертифіката.

Обрання процедури оцінки відповідності залежить від категорії закритого ДІВ (таблиця 4) та проводиться відповідно до Технічного регламенту модулів оцінки відповідності та вимог щодо маркування національним знаком відповідності із застосуванням одного з модулів або їх комбінації Таблиця 5. При цьому категорію джерела визначає виробник, постачальник або власник закритого джерела.

Технічна документація на закриті ДІВ, яка подається виробником або уповноваженою ним особою, повинна містити:

- вимоги до конструкції закритого ДІВ;

- умови його експлуатації, технічного обслуговування і ремонту;

- перелік заходів щодо забезпечення безпеки зберігання та використання ДІВ,

- вимоги до кваліфікації персоналу, який працюватиме з ДІВ;
- фотокартки ДІВ, його контейнера, транспортувальної упаковки.

Таблиця 5 - Перелік модулів оцінки відповідності закритих джерел вимогам Технічного регламенту [8]

Категорії закритих ДІВ	Модулі оцінки відповідності закритих ДІВ
1	A1* або C+B, або C1+B, або C2+B, або E+B, або B, або F+B, або B, або G, або H, або H1
2	A1* або C+B, або C1+B, або C2+B, або E+B, або B, або F+B, або B або G
3	A1* або C+B, або C1+B, або C2+B, або D+B, або D1+B, або E+B, або B, або F+B, або B, або G
4	A1 або B, або C+B, або C1+B, або C2+B, або D+B, або D1+B, або E+B, або B, або F+B, або B
5	A або A1, або B, або C+B, C1+B, або C2+B, або D, або D+B, або D1+B, або E, або E+B, або B

*Для закритих джерел, виготовлених на замовлення або малою партією.

Процедура випробувань ДІВ метрологічного призначення включає:

- реєстрацію наданих ДІВ та супровідної технічної документації;
- проведення експериментальних досліджень з метою комплексної оцінки технічного стану ДІВ;
- встановлення відповідності отриманих результатів контролю вимогам нормативної та технічної документації;
- оформлення документів встановленої форми на ДІВ з зазначенням додаткового терміну експлуатації.

Отже, строк дії сертифіката діє лише в межах строку служби ДІВ, та показує, що протягом його дії всі технічні та метрологічні характеристики ДІВ відповідають вимогам технічного регламенту і використання ДІВ є безпечним.

Калібрування закритих ДІВ.

Калібрування ДІВ в Україні відбувається згідно із затвердженою методикою [11], яка поширюється на джерела іонізуючого випромінювання закритого типу, що використовуються як міри активності або потоку частинок в кут 2π , та джерела спеціального призначення, що використовуються як міри активності, питомої активності або об'ємної активності.

Радіаційні параметри, ДІВ вимірюють за допомогою компаратора методом заміщення джерела, що калібрують, еталонним джерелом, однотипним з вимірюваним, з однаковою

площею робочої поверхні, в ідентичних геометричних умовах. Основою методу є вимірювання швидкості підрахунку імпульсів від еталонного джерела та від джерела, що калібрується, при багаторазовій зміні цих джерел. При проведенні калібрування виконують наступні операції:

- зовнішній огляд ДІВ;
- перевірка ДІВ на відсутність нефіксованого забруднення джерел радіоактивними речовинами;
- опробування ДІВ;
- визначення активності, потоку частинок в кут 2π , питомої або об'ємної активності радіонуклідів ДІВ;
- опрацювання результатів вимірювань та розрахунок невизначеностей типу А та В;
- видача свідоцтва за умови позитивного результату калібрування.

Отже, як ми бачимо, результати калібрування за затвердженою в Україні методикою підтверджують лише факт збереження радіаційних характеристик закритого ДІВ та відсутність ознак дефектів на ньому. Але не підтверджують факт герметичності джерела та відсутності дефектів. Отже, це вказує на те, що існуюча в Україні методика калібрування закритих ДІВ не дозволяє приймати рішення про продовження їх строків служби.

Вимоги до методики продовження строку служби закритих ДІВ на основі результатів калібрування.

На основі проведеного дослідження показано, що існуючі метрологічні процедури, не можуть бути використані для продовження строку служби закритих ДІВ. Методика продовження строку служби ДІВ має комплексно забезпечити виконання таких завдань:

- збереження метрологічних характеристик закритого ДІВ;
- збереження герметичності;
- впевненість у відсутності дефектів та їх ознак на закритому ДІВ.

Для реалізації цих завдань мають бути виконані такі вимоги:

1. Оскільки найбільш інформативною процедурою перевірки працездатності та метрологічних характеристик закритих ДІВ є калібрування, нами пропонується використати цю метрологічну процедуру, як основу для створення методики продовження строку служби закритого ДІВ.

2. Дані результатів планових та позапланових калібрувань свідчать про стан функціонування закритого ДІ протягом всього строку служби. За ними можна діагностувати та прогнозувати технічний стан закритого ДІВ. Ці статистичні дані фіксуються та зберігаються в архіві калібрувальної лабораторії, а отже можуть бути використані для аналізу змін метрологічних характеристик ДІВ. Але важливим питанням є опрацювання цих даних, які за весь строк служби засобу вимірювання набувають статистичного характеру.

3. Тому важливою вимогою до нової методики є вибір способу опрацювання даних калібрувань, які проводилися протягом строку служби ДІВ. Для реалізації цього пропонуємо використання контрольних карт Шухарта для прогнозування стану ДІВ та визначення граничного значення подовженого строку служби [12]. При цьому необхідно враховувати умову, за якої граничний термін експлуатації може визначатися, коли небезпека від функціонування ДІВ перевищує економічний ефект його використання.

4. Калібрування має бути продовженим після продовження строку служби, але для забезпечення безпеки та уникнення ризиків мають бути визначені нові міжкалібрувальні інтервали з меншим інтервалом часу між послідовними калібруваннями.

5. Наступною вимогою до методики має бути можливість визначення максимального значення терміну, на який продовжується строк служби ДІВ, що теж може бути реалізоване на основі вибору виду контрольних карт, який би забезпечив можливість прогнозування на основі опрацювання попередніх даних.

6. Щодо забезпечення герметичності, то необхідною умовою є вдосконалення методики калібрування та долучення до неї процедури перевірки на герметичність [13]. Така процедура має бути розроблена на основі дослідження існуючих методів перевірки на герметичність з врахуванням конструктивних особливостей ДІВ.

Ці вимоги пропонуємо описати моделлю, яка включає систему нерівностей:

$$\begin{cases} U_{ki} \leq U_{don} \\ T_{max} = f(E, R, U_{ki}) \\ \Delta T_{ki} \leq \Delta T_{np} \\ f(G) = const \end{cases} \quad (1)$$

Де U_{ki} - сумарна непевність i -го калібрування під час продовженого строку служби; U_{don} - допустиме значення непевності; T_{max} - подовженого строку служби; E - значення економічний ефект; R - значення ризику; ΔT_{ki} - міжкалібрувальний інтервал часу після продовження строку служби; ΔT_{np} - міжкалібрувальний інтервал часу до продовження строку служби; $f(G)$ - показник герметичності ДІВ.

Висновки.

За умови широкого використання закритих джерел іонізуючого випромінювання в промисловості України, питання можливості продовження строку їх експлуатації не регламентується законодавством нашої країни.

Методика продовження строку служби ДІВ має комплексно забезпечити виконання таких завдань, як збереження метрологічних характеристик закритого ДІВ; збереження

герметичності; впевненість у відсутності дефектів та їх ознак на закритому ДІВ.

Сформовані вимоги до методики, які передбачають використання даних результатів попередніх калібрувань ДІВ, застосування контрольних карт для аналізування даних калібрувань та прогнозування стану ДІВ; визначення граничного значення строку служби ДІВ та вдосконалення методики калібрування щодо перевірки ДІВ на герметичність.

Розроблення методики продовження строку служби закритих ДІВ дозволить продовжити безпечно їх використання в промисловості та принесе значний економічний ефект внаслідок продовження зменшення витрат, пов'язаних з зберіганням та/або захороненням на спеціалізованому підприємстві з поводження з радіоактивними відходами; пов'язаних із закупівлею нових ДІВ за кордоном та постановкою їх на облік.

Література

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 3 серпня 2006 р. N 1092 Про затвердження Державної програми забезпечення безпечного зберігання відпрацьованих високоактивних джерел іонізуючого випромінювання.

2. 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>

3. Брегадзе Ю.И., Степанов Э.К., Ярына В.П. Прикладная метрология ионизирующих излучений. Москва.: Энергоатомиздат, 1990.- 264 с.

4. Юдин М.Ф., Кармалицин Н.И., Кочин А.Е., Сазонова Т.Е., Фоминых В.И., Фролов Е.А., Хольнова Е.А. Измерение активности радионуклидов. Справочное пособие. Санкт-Петербург, 1997.-398 с.

5. Р. Берестов, І. Кравченко, Н. Гоц, В. Паракуда (2019). Огляд системи метрологічного забезпечення спектрометрії іонізуючого α -, β -, γ - випромінювання. – Метрологія та прилади № 2, с/р 28 – 35.

6. 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.

7. Технічний регламент закритих джерел іонізуючого випромінювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1382-2007-%D0%BF#Text>

8. Технічний регламент модулів оцінки відповідності та вимог щодо маркування національним знаком відповідності, які застосовуються в технічних регламентах з підтвердження відповідності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/3033051>

9. Документ МАГАТЕ Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-Values) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iaea.org/publications/7568/dangerous-quantities-of-radioactive-material-d-values>

10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ – 97) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>

11. МК-IR-02:2020 Джерела іонізуючого випромінювання. Методика калібрування.

12. Stanislaw Plaska Wprowadzenie do statystycznego sterowania procesami technologicznymi. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej.-200.-873s.

13. ДСТУ ISO 9978:2014 Радіаційна безпека. Закриті радіоактивні джерела. Методи випробування на витік (ISO 9978:1992, IDT)

References

1. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 3 serpnia 2006 r. N 1092 Pro zatverdzhennia Derzhavnoi prohramy zabezpechennia bezpechnoho zberihannia vidpratsovanykh vysokoaktyvnykh dzherel ionizuiuchoho vyprominiuvannia.

2. 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>

3. Brehadze Yu.Y., Stepanov E.K., Yaryna V.P. Prykladnaia metrolohiia yonyzyriushchykh

yzluchenyi. Moskva.: Enerhoatomyzdat, 1990.-264 s.

4. YUdin M.F., Karmalichin N.I., Kochin A.E., Sazonova T.E., Fominyh V.I., Frolov E.A., Hol'nova E.A. Izmerenie aktivnosti radyonuklydov. Spravochnoe posobyе. Sankt-Peterburh, 1997.-398 s.

5. R. Berestov, I. Kravchenko, N. Hots, V. Parakuda (2019). Ohliad systemy metrolohichnoho zabezpechennia spektrometrii ionizuiuchoho α -, β -, γ - vyprominennia. – Metrolohii ta prylyady № 2, s/r 28 – 35.

6. MV 12-01:2014 Instruktsiia z tekhnichnoho obsluhovuvannia dzherel ionizuiuchoho vyprominiuvannia. Vyprobuvannia radionuklidnykh dzherel ionizuiuchoho vyprominiuvannia z metoiu vyznachennia yikh tekhnichnykh kharakterystyk ta perevirky na hermetychnist.

7. Tekhnichni rehlyment zakrytykh dzherel ionizuiuchoho vyprominiuvannia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1382-2007-%D0%BF#Text>

8. Tekhnichni rehlyment moduliv otsinky vidpovidnosti ta vymoh shchodo markuvannia

natsionalnym znakom vidpovidnosti, yaki zastosovuiutsia v tekhnichnykh rehlymentakh z pidtverdzhennia vidpovidnosti [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu:

<https://www.kmu.gov.ua/npas/3033051>

9. Dokument MAHATE Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-Values) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.iaea.org/publications/7568/dangerous-quantities-of-radioactive-material-d-values>

10. Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU – 97) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>

11. MK-IR-02:2020 Dzherela ionizuiuchoho vyprominiuvannia. Metodyka kalibruvannia.

12. Stanislaw Plaska Wprowadzenie do statystycznego sterowania procesami technologicznymi. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej.-200.-873

13. DSTU ISO 9978:2014 Radiatsiina bezpeka. Zakryti radioaktyvni dzherela. Metody vyprobuvannia na vytik (ISO 9978:1992, IDT)