

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, старшого наукового співробітника,
виконуючого обов'язки Генерального директора
Національного наукового центру «Інститут метрології»
Склярова Володимира Васильовича
на дисертацію Берестова Руслана Володимировича
на тему «Метод продовження строку служби закритих джерел іонізуючого
випромінення»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка,
галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Отримана на опонування дисертаційна робота Берестова Руслана Володимировича складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 147 сторінок друкованого тексту, який містить 94 сторінки основного тексту, 16 таблиць і 14 рисунків, з яких 1 таблиця (4.6) повністю займає площу сторінки, список використаних літературних джерел з 101 найменувань на 12 сторінках і 6 додатків на 41 сторінках.

Дисертацію написано українською мовою, оформлено відповідно до вимог чинного документу «Вимоги до оформлення дисертації», затвердженого Наказом МОН України від 12.01.2017 р. № 40.

Дисертаційна робота, що опонується, є завершеною кваліфікаційною працею, яка характеризується єдністю змісту і містить в собі нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу метрології закритих джерел іонізуючого випромінення, вдосконалення процедури калібрування закритих джерел іонізуючого випромінення та розробку методу подовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінення.

Актуальність роботи обумовлена тим, що за інформацією Державного реєстру джерел іонізуючого випромінювання та індивідуальних доз опромінення, станом на 30 червня 2021 року в Україні використовується близько 9000 одиниць радіонуклідних джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ). Серед них значну частину займають закриті ДІВ, вироблені до 1991 року. За вимогами законодавства та нормативно-правових актів України, відпрацьовані джерела іонізуючого випромінення, у яких закінчився строк служби, підлягають передачі до спеціалізованих підприємств з поводження з радіоактивними відходами для подальшої їх утилізації. Проте законодавство України не регламентує методику, за

якою строк служби закритого джерела іонізуючого випромінення може бути продовжений.

Тому розроблення засад для продовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінення на основі контролю збереження їх метрологічних характеристик та герметичності є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами

Основний зміст роботи складають результати досліджень, які проводились протягом 2019–2024 років, відповідно до наукового напрямку кафедри «Інформаційно вимірювальні технології» Національного університету «Львівська політехніка», а також Державного підприємства «Київський обласний науково-технічний центр стандартизації, метрології та сертифікації» в рамках науково-дослідної роботи: Розробка методики калібрування «Засоби вимірювання активності, питомої (об'ємної) активності, поверхневої густини потоку» (державний реєстраційний номер 0222U005309).

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукове значення роботи полягає в розробленні теоретичних та практичних висновків і рекомендацій, які викладені в науковому дисертаційному дослідженні. Вони є достатніми та належним чином обґрунтованими.

Автором на високому рівні, у достатньому обсязі, проведені теоретичні та експериментальні дослідження, запропоновані відповідні розрахункові теоретичні підходи та розроблені експериментальні методики оцінки міцності конструктивних матеріалів. Обґрунтованість та достовірність наукових положень і результатів, рекомендацій і висновків підтверджується коректною постановкою завдань досліджень, високим збігом даних, що отримані в результаті моделювання з використанням ПК та результатами проведених експериментальних досліджень, а також апробацією результатів дисертаційної роботи у виробничих умовах.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій отриманих у дисертації, підтверджена забезпеченням комплексної дослідницької методології, обґрунтованістю вихідних позицій автора, застосуванням комплексу репрезентативних методів, адекватних предмету, меті та поставленим завданням, об'єктивним аналізом одержаних результатів експериментального дослідження, а також їх всебічною апробацією на науково-практичних заходах різних рівнів, успішним упровадженням результатів науково-дослідної роботи та застосуванням на практиці.

Наукову новизну наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації засвідчують наступні найбільш значущі наукові положення, що винесені на захист:

- проведений аналіз метрологічного забезпечення ДІВ, що дало змогу сформулювати вимоги до методу продовження їх строку на основі контролю та аналізу метрологічних характеристик;
- вперше розроблено засади та математичну модель комплексного методу продовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінення на основі контролю їх метрологічних характеристик та контролю герметичності та аналізування інформації із застосуванням контрольних карт, що дає можливість прийняти рішення про продовження строку служби закритих ДІВ;
- вдосконалено рівняння сумарної невизначеності результатів калібрування та перевірки на герметичність закритих ДІВ, що дало можливість підвищити точність оцінки невизначеності;
- вперше запропоновано використати дослідження статистичної керованості процесу змін метрологічних характеристик закритих ДІВ протягом строку служби з метою прийняття рішення про його подовження.

Робота пройшла необхідну апробацію, оскільки її основні наукові положення, висновки та рекомендації доповідались та обговорювались на багатьох міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях та семінарах.

Основні положення та практичні результати дисертації доповідалися і обговорювались на таких конференціях:

11-й міжнародній науково-технічній конференції “Метрологія та вимірвальна техніка” 9, 10 та 11 жовтня 2018 року, Національний науковий центр “Інститут метрології”, м. Харків;

4-й міжнародній науково-практичній конференції “Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи” 16-17 травня 2019 року, Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів;

Міжнародній конференції метрологів МЦМ’2019 10-12 вересня 2019 року, Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів;

6-й Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених у царині інформаційно-вимірвальних технологій та метрології “Technical using of measurement-2020” 4-7 лютого 2020 року, м. Славське;

18-й міжнародному науково-технічному семінарі “Невизначеність вимірювань: наукові, нормативні, прикладні та методичні аспекти” 13-14 грудня 2021 року, Національний науковий центр “Інститут метрології”, м. Харків;

Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційно-вимірвальні технології ІВТ-2022” 9-10 листопада 2022 року, Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів;

6-й міжнародній науково-практичній конференції “ Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи ” 16-17 листопада 2023 року, Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів.

Основні результати дисертації викладено у 6 публікаціях, з них: 5 статей у наукових фахових виданнях України та 1 стаття – у науковому періодичному виданні іншої держави, що включене до міжнародної наукометричної бази даних.

Таким чином, вимоги «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» до кількості публікацій виконано.

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність заповищень, є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертації порушень академічної доброчесності не виявлено.

Аналіз змісту та форми дисертації.

У *вступі* аргументовано викладено актуальність теми дисертації, окреслено мету дослідження та науково-технічні завдання, необхідні для його виконання, представлені методи досліджень, вказані новизна і практичне значення отриманих результатів, наведені відомості про апробацію, публікації та реалізацію результатів дослідження.

У *першому розділі* розглянуто еталонну базу джерел іонізуючого випромінення та методи вимірювання активності нуклідів. Розглянуто законодавче та нормативне забезпечення закритих ДІВ. Згідно нормативно-правового документу України «Технічного регламенту закритих джерел іонізуючого випромінювання» за умови збереження радіаційних характеристик, герметичності та відсутності дефектів закритих джерел іонізуючого α - , β - та γ -випромінення, їх строк служби може бути продовжений в установленому законодавством порядку. Але проведений аналіз нормативних та методичних документів дозволив виявити проблему відсутності методу продовження строку служби закритих ДІВ. Визначено, що рішення про продовження строку служби має базуватися на фактах, які підтверджені перевітками (калібруванням) метрологічних характеристик закритого ДІВ протягом строку його служби, а також передбачати визначення та встановлення додаткового часового інтервалу, протягом якого це джерело може експлуатуватися. В розділі сформована мета та задачі дослідження.

У *другому розділі* істотна увага приділена обґрунтуванню необхідності проведення перевірки на герметичності ДІВ перед проведенням їх калібрування. Розробленню методики перевірки на герметичність закритих ДІВ. Для реалізації

цієї мети в розділі вирішені такі завдання: аналізування методу вимірювання активності радіонуклідів та калібрування джерел, аналізування складових невизначеності вимірювання активності радіонуклідів при калібрування ДІВ, розроблення засад методики перевірки герметичності джерел іонізуючого випромінювання, аналізування складових непевності перевірки герметичності джерел, формування загального бюджету невизначеності ДІВ, оцінювання невизначеності результатів калібрування джерел іонізуючого випромінювання. Сформовано рівняння розширеної невизначеності результатів калібрування закритих ДІВ з врахуванням перевірки на герметичність, що дало можливість підвищити точність оцінки невизначеності.

У третьому розділі розроблена методика застосування контрольних карт для контролю статистичної керованості процесу змін метрологічних характеристик закритого ДІВ. Для цього був проведено аналіз видів контрольних карт, визначено доцільність застосування для закритих ДІВ контрольних карт кумулятивних сум. Вони дозволяють врахувати результати попередніх калібрувань ДІВ та контролювати статистичну керованість змін їх метрологічних характеристик. Розглянуті принципи побудови контрольних карт кумулятивних сум та обтягої V-маски. З метою прогнозування процесу змін метрологічних характеристик закритого ДІВ проведений порівняльний аналіз застосування методів екстраполяції та запропоноване використання регресійного аналізу та метод найменших квадратів. Результати калібрування за життєвий цикл закритого ДІВ було описано різними регресійними функціями. Обґрунтовано вибір функції для проведення прогнозування, яка найбільш точно описала отримані результати. Враховуючи всі отримані результати було розроблено метод подовження терміну експлуатації закритих джерел іонізуючого випромінювання. Обґрунтований вибір терміну, на який продовжується строк експлуатації закритого ДІВ.

Четвертий розділ присвячений проведенню експериментальних досліджень та математичному моделюванню методу подовження строку служби закритих ДІВ. Проведенню оцінювання невизначеності результатів калібрування на прикладі закритого джерела β -випромінювання ІСО-21. Дослідженню рівномірності зовнішнього випромінювання закритих джерел α -випромінювання. Проведенню моделювання вибору функції для опису змін активності закритого ДІВ за результатами калібрування, для прогнозування строку служби ДІВ.

Висновки містять інформацію про сформульовані основні результати дисертаційної роботи.

Список використаних літературних джерел містить 101 посилання.

Додатки містять інформацію про значення величини D1 для окремих радіонуклідів, методики калібрування, протоколу міжлабораторних звірень, акту впровадження, порівняльної характеристики контрольних карт.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

Незважаючи на те, що дисертаційна робота Берестова Руслана Володимировича, в цілому, оцінюється вельми позитивно, їй властиві ряд недоліків:

1. Одночасне використання у тексті термінів "непевність" та "невизначеність". Непевність – взагалі нонсенс у метрології.
2. Основний метод вимірювання активності – компарування, але компараторам приділено мало уваги, а компаратор гамма-випромінювання взагалі не досліджується у тексті дисертаційної роботи (не згадується).
3. Додаток 1 має лише довідникове навантаження. Відношення до теми дисертаційної роботи – дискусійне.
4. Поспішна неохайність в усьому документі: нумерація сторінок відмінним від основного типу шрифту; відсутність інтервалів між посиланнями на літературні джерела та попереднім словом; частина таблиць наведена жирним шрифтом, частина звичайним; різноманітні варіанти підпису рисунків; часткове виконання вимог оформлення посилань на літературні джерела; відсутність вільних строчок між розділами та підрозділами; розрив таблиць між сторінками без написання «*продовження таблиці*»; відмінний від встановленого редактор написання формул (розділ 3 повністю).
5. Відсутність у переліку умовних позначень тлумачень латинських абревіатур (SPC, CUSUM).
6. Край неінформативні рисунки 3.3, 3.4, 3.5 – відсутність пояснень та підписів шкал. Рисунок 4.2 взагалі розміщено на 2 сторінках.

Додатки дисертаційної роботи пронумеровані арабськими числами. Але, відповідно до вимог чинного документу «Вимоги до оформлення дисертації», затвердженого Наказом МОН України від 12.01.2017 р. № 40: «...Додатки слід позначати послідовно великими літерами української абетки, за винятком літер Г, І, Є, З, Ї, І, Й, О, Ч, Ь».

Однак, незважаючи на те, що зроблені зауваження дещо знижують, як відмічалося раніше, високу оцінку роботи, можна констатувати, що вони носять частковий характер і не стосуються основних положень дисертаційного дослідження, що виносяться на захист.

Загальні висновки та оцінка дисертації.

Дисертація Берестова Руслана Володимировича «Метод подовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінювання» є завершеною науковою роботою, яка містить обґрунтовані наукові результати. У дисертації розв'язано питання подовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінювання з подальшим їх використанням.

Отримані наукові положення та практичні результати є значущими для галузі автоматика та приладобудування в цілому та метрології і інформаційно-виміральної техніки зокрема. Тема, зміст дисертації та отримані наукові результати відповідають предметній області спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірально-технічна.

Таким чином, враховуючи актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх наукову новизну та практичну цінність, відповідність предметній області спеціальності, повноту викладу у наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор Берестов Руслан Володимирович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірально-технічна.

Офіційний опонент – доктор технічних наук,
старший науковий співробітник, виконуючий обов'язки
Генерального директора
Національного наукового центру
«Інститут метрології»



Володимир СКЛЯРОВ

Підпис виконуючого обов'язки Генерального директора ННЦ «Інститут метрології»
доктора технічних наук, старшого наукового співробітника
Володимира СКЛЯРОВА завіряю.

Заступник генерального директора
ННЦ «Інститут метрології»
з науково-метрологічної роботи
д-р. фіз.-мат. наук, проф.



Олександр ПРОКОПОВ