

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

доктора технічних наук, професора,  
професора кафедри інформаційно-вимірвальних технологій  
Національного технічного університету України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»

### **Володарського Євгенія Тимофійовича**

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

#### **Актуальність теми дисертації.**

В промисловості та медичній практиці та наукових дослідженнях використовуються різні види закритих джерел іонізуючого  $\alpha$ -,  $\beta$ - та  $\gamma$ -випромінення (надалі – ДІВ). З метою безпеки їх експлуатації, виробником вводиться такий показник, як строк служби, на протязі якого зберігаються метрологічні характеристики ДІВ. За вимогами нормативно-правових актів України, відпрацьовані джерела іонізуючого випромінення, у яких закінчився строк служби, встановлений виробником, підлягають утилізації. Однак, у разі підтвердження факту збереження метрологічних характеристик, герметичності та відсутності дефектів та їх ознак на закритому ДІВ, його строк служби може бути продовжений.

Для можливого продовження строку експлуатації ДІВ, проводиться моніторинг збереження метрологічних характеристик, який реалізується шляхом періодичних калібрувань ДІВ, а також встановлюється герметичність його та перевірка відсутності дефектів. тим самим підвищення економічної та соціальної ефективності його використання, тим самим підвищується економічна та соціальна ефективності використання ДІВ.

У зв'язку з цим, розроблення засад для продовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінення є актуальним.

#### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного, дослідження, з нашої точки зору, полягає в наступному. Герметичність, як основний експлуатаційний показник, є свідченням можливості безпечного подальшого використання закритих джерел іонізуючого випромінення. Крім того цей показник є однією з складових, які забезпечують знаходження ДІВ у статистично керованому стані. В роботі запропоновано двоетапний метод, який дозволяє використовувати результати перевірки на герметичність і для продовження терміну експлуатації ДІВ, і для проведення прогнозування його метрологічних характеристик. Для прогнозування використовуються дані, які отримані в однорідних умовах. Зазвичай, для забезпечення та переконання однорідності експериментальних

даних проводять паралельні вимірювання з наступною статистичною обробкою. Але специфіка функціонування ДІВ накладає обмеження на використання традиційного підходу. В роботі для отримання інформації про однорідність результатів будується лінія регресії на основі результатів попередніх калібрувань ДІВ, яка також використовується для прогнозування. Для підтвердження знаходження ДІВ у статистично керованому стані застосовуються контрольні карти кумулятивних сум, які мають пам'ять на основі врахування попередніх результатів, і за рахунок цього високу чутливість встановлення розладнання процесу.

Іншим моментом, який би хотілося підкреслити, це підвищення точності реалізації процедури калібрування, а саме зменшення невизначеності результату. Це зроблено за рахунок поглибленого вивчення процедури калібрування та введення в її модельне рівняння нових коефіцієнтів, які враховують додаткові впливові величини.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі інформаційно - вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка» відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 476 від 30.04.2024 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні» під керівництвом професора кафедри інформаційно - вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка», доктора технічних наук Гоц Наталії Євгенівни.

Отже, в дисертаційній роботі вирішується науково-технічне завдання продовження строку безпечної експлуатації закритих джерел іонізуючого випромінювання при збереженні метрологічних характеристик шляхом впровадження запропонованого двоетапного методу, що включає перевірку на статистичну керованість закритого джерела іонізуючого випромінювання з подальшою побудовою регресійної моделі з прогнозуванням граничного строку служби.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Берестова Р.В.. відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-професійної програми «Метрологія та вимірювальна техніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям метрології та інформаційно-вимірювальної техніки.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Берестова Руслана Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

## **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладається послідовно, використовуються загально прийняті терміни та позначення, використовуються відомі технічні характеристики та параметри.

Дисертаційна робота складається із переліку умовних позначень та скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 147 сторінок, з яких 92 сторінки основного тексту, що містять 40 формул, 14 рисунків та 16 таблиць. Список використаних джерел налічує 101 найменування.

Робота написана на достатньому мовно-стилістичному рівні.

У *вступі* обґрунтовано 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* проведений аналіз метрологічного забезпечення закритих джерел іонізуючого  $\alpha$  -,  $\beta$  -,  $\gamma$  – випромінення. Розглянута природа іонізуючого випромінення, а також його застосування в промисловості та вплив на організм людини і оточуюче середовище. Проведений аналіз джерел іонізуючого випромінення різних видів та їх технічних характеристик.

У *другому розділі* було сформовано вимоги до методу продовження строку служби закритих ДІВ на основі результатів калібрування. Розроблено математичну модель у вигляді системи нерівностей для методу продовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінення на основі аналізу змін їх метрологічних характеристик протягом строку служби. Проведений аналіз існуючої методики калібрування закритих ДІВ та визначено необхідність її вдосконалення шляхом додавання процесу перевірки ДІВ на герметичність. В розділі розроблено методику перевірки закритого ДІВ на герметичність та проведений аналіз складових його 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 випромінення. Обґрунтований вибір терміну, на який продовжується строк експлуатації закритого ДІВ.

В четвертому розділі проведені експериментальні дослідження та математичне моделювання методу продовження строку служби закритих ДІВ. Проведене оцінювання невизначеності результатів калібрування на прикладі закритого джерела  $\beta$ -випромінення ІСО-21. Досліджена рівномірність зовнішнього випромінення закритих джерел  $\alpha$ -випромінення. Проведене моделювання вибору функції для опису змін активності закритого ДІВ за результатами калібрування, для прогнозування строку служби ДІВ.

У висновках сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

У додатках представлені матеріали щодо значення величини D1 для окремих радіонуклідів, методики калібрування, протоколу між лабораторних порівнянь, акту впровадження, порівняльної характеристики контрольних карт.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

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

- 11-й міжнародній науково-технічній конференції “Метрологія та вимірювальна 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-вимірювальних 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-вимірювальні 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 Scopus.

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 запозичень, є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертації порушень академічної доброчесності не виявлено.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. З нашої точки зору, Об'єкт дослідження – термін безпечної експлуатації закритих джерел іонізуючого випромінювання при збереженні метрологічних характеристик.

2. Як можна проводити прогнозування без врахування впливу випадковості? Хоча далі згадується про довірчий інтервал.

3. Не пояснено, чому активність нормується в абсолютних одиницях, а невизначеність – у відносних.

4. П. 2.1 Вдосконалення методики калібрування не забезпечує герметичності.

5. П.2.2 У невизначеності вимірювання систематичної складової не може бути.

6. Застосування методу найменших квадратів для не лінійних регресійних залежностей передбачає представлення їх у вигляді лініаризованого полінома. При цьому втрачається ефективність критерію.

7. У виразах (2.12), (2.13) у лівій частині стоїть відносна величина, а в правій – абсолютна.

8. При знаходженні сумарної невизначеності модельного рівняння, яке включає операції множення/ділення використовується процедури логарифмування та диференціювання. У правій частині виразу для невизначеності знаменники складових, що знаходяться під коренем квадратним, повинні бути у степені два.

9. В роботі не розділяються поняття *метод* і *методика*; вживаються терміни *невизначеність* і *непевність*, навіть в одному реченні.

10. У П. 2.3 вказується, що для знаходження коефіцієнта охопту необхідно виходити з ефективного ступенів свободи. Але при цьому необхідно використовувати розподіл Стюдента, а не Гауса. При цьому значення коефіцієнту буде менше 2.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Берестова Руслана Володимировича на тему «Метод продовження строку служби закритих джерел іонізуючого випромінювання» виконана на високому

науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для Метрології та інформаційно-виміральної техніки. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Берестов Руслан Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка.

**Офіційний опонент:**

професор кафедри інформаційно-вимірвальних технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доктор технічних наук, професор



Підпис доктора технічних наук,  
професора Євгена ВОЛОДАРСЬКОГО  
«ЗАСВІДЧУЮ»



« 28 » 05 2024 року