

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

БІЛИК ЗАХАР ВАЛЕНТИНОВИЧ



УДК 681.2:[623.454.836+623.454.84+623.454.86]

**МЕТОД ТА ЗАСІБ КОНТРОЛЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ
НА ТОЧКОВІ ДЖЕРЕЛА ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі приладів і методів неруйнівного контролю Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Григор'єв Олександр Миколайович
пенсіонер

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
заслужений діяч науки і техніки України
Большаков Володимир Борисович,
Академія метрології України, м. Київ,
віце-президент

кандидат технічних наук, доцент
Хорошайло Юрій Євгенійович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри проектування
та експлуатації електронних апаратів

Захист відбудеться «16» березня 2017 р. о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий «03» лютого 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Глоба С.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах сьогодення забруднення радіонуклідами, зокрема ^{137}Cs , ^{90}Sr і ^{239}Pu , компонентів навколишнього природного середовища становить велику небезпеку для людства. Тому нарощування ядерної енергетики вимагає забезпечення безпеки всього циклу виробництва енергії, починаючи з видобутку урану аж до етапу захоронення радіоактивних відходів та створення необхідних систем для ліквідації наслідків можливих радіаційних аварій.

Крім того, починаючи з 1990-х років у світі гостро постала проблема незаконного обороту ядерних радіоактивних матеріалів і джерел ядерної контрабанди, які вийшли з-під регульованого нагляду і можуть бути використані у зловмисних цілях.

Все це призвело до того, що ядерна та радіаційна загроза на сьогодні міжнародною спільнотою розцінюється як загроза міжнародній безпеці, і відповідальність за її забезпечення несуть суверенні держави.

Фундаментальні основи пошуку та локації постійних джерел гамма-випромінювання (ДГВ) закладені в роботах В. Н. Потапова, С. В. Ісакова, А. А. Ключникова, С. Н. Солових, В. П. Демченкова, В. Ю. Плахотника та інших. Детектори імпульсного іонізуючого випромінювання розробляються в працях В. А. Борисенка, Д. В. Смирнова, З. А. Альбікова та інших.

Визначена доцільність створення сучасних, ефективних та надійних систем контролю за радіаційною обстановкою та пошуку ядерних радіоактивних матеріалів і радіаційних джерел, які вийшли з-під регульованого нагляду. На сьогодні в радіометричній практиці широко застосовуються іонізаційні камери, пропорційні та газорозрядні лічильники, напівпровідникові та сцинтиляційні детектори, а також піроелектричні детектори. Однак визначено, що ці засоби виміральної техніки не в повному обсязі відповідають потребам сьогодення і в цьому плані більш перспективними для захисту навколишнього середовища та запобігання наслідкам ядерної контрабанди є методи неруйнівного контролю, які базуються на використанні нових спектрометричних приладів для вимірювання іонізуючих випромінювань з використанням напівпровідникових детекторів.

Таким чином, науково-практична задача розробки методу та засобу для прецизійного визначення напрямку на точкове джерело гамма-випромінювання є актуальною та визначила напрям дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі приладів і методів неруйнівного контролю Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у рамках держбюджетної НДР Міністерства оборони України «Критерії попереднього відбору територій та об'єктів на землях військово-оборонної галузі з метою віднесення їх до складу природно-заповідного фонду України» (ДР № 0115U001016), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає в підвищенні точності визначення напрямку в просторі на точкові гамма-джерела постійного та імпульсного характеру за рахунок використання межі між максимальною

і мінімальною товщиною асиметричного поглинача, та нерухомих поглиначів заданої геометричної форми.

Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлені задачі:

– проаналізувати сучасний стан методів та засобів для визначення напрямку на ДГВ;

– запропонувати фізико-математичну модель для визначення напрямку в просторі на точкове ДГВ, включаючи імпульсне, асиметричними та кульовим поглиначами;

– удосконалити метод визначення напрямку на точкове ДГВ у просторі, включаючи імпульсне;

– розробити прецизійний метод визначення напрямку на постійне точкове ДГВ у площині;

– виконати експериментальні дослідження з визначення напрямку на точкове гамма-джерело;

– розробити засіб для визначення постійних та імпульсних ДГВ.

Об'єктом дослідження є процес взаємодії гамма-випромінювання точкових джерел з речовиною, що несе інформацію про напрямок випромінювання.

Предметом досліджень є методи та засоби для визначення напрямку на точкові ДГВ.

Методи досліджень, що реалізовані при вирішенні поставлених задач, базуються на використанні графічно-числових методів побудови асиметричних та кульового поглиначів, теорії поглинання гамма-випромінювання речовинами, що мають різний коефіцієнт ослаблення, методів теорії вимірювань та статистичної теорії похибок, математичної обробки результатів експерименту. Перевірка адекватності отриманих результатів здійснювалась в процесі експериментальних досліджень на створених зразках засобів контролю. Під час побудови засобів контролю використано методи схеми- і системотехніки.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше розроблено прецизійний метод визначення напрямку на точкові постійні ДГВ у площині, що дозволяє визначати напрямок межею між максимальною та мінімальною товщиною асиметричного поглинача заданої геометричної форми.

2. Вперше встановлено ефект збільшення величини розсіювання гамма-квантів при проходженні їх вздовж мідно-свинцевої поверхні, використання якого дозволило суттєво підвищити точність визначення напрямку на точкове ДГВ.

3. Удосконалено фізико-математичну модель визначення напрямку в просторі на точкове ДГВ, яка пов'язує його місце знаходження із товщиною поглинача та визначеними співвідношеннями сигналів від детекторів за поглиначами, що дала можливість суттєво підвищити точність методу та засобу контролю.

4. Отримав подальший розвиток метод визначення напрямку на точкові постійні та імпульсні ДГВ у просторі, який дозволяє отримати співвідношення сигналів від детекторів, що розташовані в поглиначі з різним коефіцієнтом ослаблення, до сигналу з детектора, що розташований в поглиначі з постійним коефіцієнтом ослаблення, а також співвідношення сигналів одного детектора до

іншого та порівняти ці співвідношення із калібрувальними даними для енергії гамма-джерела, що визначена на відкрито розташованому детекторі та дає можливість визначати напрямок на ДГВ будь-якої енергії.

Практичне значення отриманих результатів у галузі контролю та вимірювання іонізуючих випромінювань полягає в тому, що на основі створених для визначення напрямку на ДГВ макета, поглиначів з заданими величинами поглинання гамма-випромінювання, алгоритму визначення напрямку на гамма-джерела за даними детекторів розроблено засоби для визначення напрямку на ДГВ з асиметричними та кульовим поглиначами (Пат. 85493 Україна, МПК G01T1/16, G01T1/167, G01T1/169, G21J5/00), що дозволяє проектувати пристрої для визначення напрямку на гамма-джерела, включаючи імпульсні.

Результати дисертаційної роботи використані для відкриття принципово нового напрямку прикладних досліджень із високим практичним потенціалом у галузі радіаційного захисту медичного персоналу та пацієнтів у державній установі «Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва Національної академії медичних наук України» (акт впровадження від 08.07.2015 р.). Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування у Харківському Національному університеті ім. В.Н. Каразіна (акт впровадження від 28.05.2015 р.) у вигляді розробленого засобу, який було використано для створення апаратури реєстрації випромінювань за допомогою напівпровідникових детекторів та обробки спектрометричної інформації. Результати дисертації апробовані та використані в навчальному процесі на кафедрі радіаційного, хімічного, біологічного захисту факультету військової підготовки НТУ «ХПІ» під час викладання дисципліни «Військова дозиметрія» (акт впровадження від 29.05.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані здобувачем самостійно. Серед них: удосконалення фізико-математичної моделі, методу та засобів контролю для визначення напрямку в просторі на точкове ДГВ, включаючи імпульсне; розробка прецизійного методу визначення напрямку в площині на точкове ДГВ; виявлення ефекту збільшення величини розсіювання гамма-квантів при проходженні їх вздовж мідно-свинцевої поверхні; розробка та виготовлення поглиначів, блоків детектування та аналізатора імпульсів гамма-випромінювання; практична реалізація розробленого методу та засобу.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на: XX і XXI Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2012, 2013); Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ» (Львів, 2013); XXI щорічній Міжнародній конференції «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» (Гурзуф, 2013); XII Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування. Стан і перспективи» (Київ, 2013); науково-практичному семінарі «Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення службово-бойової діяльності Національної

гвардії України» (Харків, 2014); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи» (Одеса, 2014); інформаційно-комунікативному заході «Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України» (Київ, 2015); VI науково-технічній конференції «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки» (Київ, 2015).

Публікації. Основні результати дисертації викладені у 20 наукових працях, з них: 6 статей у наукових фахових виданнях України (3 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), 4 патенти України, 10 – у матеріалах конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 267 сторінок, з них: 62 рисунки, 1 таблиця по тексту, список використаних джерел з 114 найменувань на 14 сторінках та 32 додатки на 124 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, постановами директивних органів України, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено об'єкт та предмет дослідження, наукову новизну, практичну цінність та особистий внесок здобувача в отриманих результатах, надано відомості про публікацію, апробацію та впровадження.

У першому розділі виконано аналіз стану досліджень і розробок з визначення напрямку на постійні та імпульсні ДГВ, їх пошуку та локації, які проводяться з використанням коліматорів при покроковому обстеженні поверхонь, піксельних матриць датчиків з отриманням зображень ДГВ в межах діапазону кутів, що охоплюється матрицею, поглиначів із щілинами, що постійно обертаються, або нерухомих поглиначів з декількома датчиками. Встановлено, що існуючі методи та системи дозволяють визначати напрямок на постійні ДГВ з точністю до $\pm 0,1^\circ$, а точність визначення напрямку на імпульсні ДГВ потребує подальшого дослідження.

На основі аналізу наукових, науково-технічних і патентних джерел та узагальнення досліджень, що проводяться в галузі пошуку та локації ДГВ, визначено актуальність створення методу та засобів контролю для визначення напрямку в просторі на точкові ДГВ, включаючи імпульсні, за одним вимірюванням із використанням нерухомих поглиначів та мінімальної кількості датчиків.

Другий розділ присвячено розробці та створенню блоків детектування та аналізатора імпульсів гамма-випромінювання на основі процесів взаємодії гамма-випромінювання із речовиною, а також проведенню тестування датчиків з телуриду кадмію (CdTe), що рекомендуються, на стабільність.

Для реєстрації кількості гамма-квантів та розподілу їх за енергією розроблені та створені блоки детектування на основі детекторів з CdTe розміром

5×5×2 мм та 4×4×2 мм із попередніми підсилювачами та аналізатор імпульсів. Спрощена схема одного каналу такого аналізатора зображена на рисунку 1.

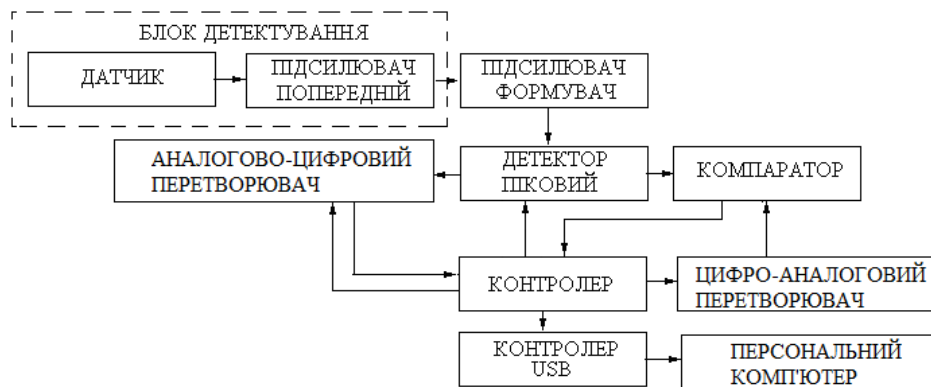


Рисунок 1 – Спрощена схема одного каналу аналізатора імпульсів

Визначено, що перспективним є конструкція аналізатора гамма-випромінювання у вигляді чотирьох багатоканальних аналізаторів імпульсів з блоками детектування, що працюють у спектрометричному режимі одночасно та керуються одним мікроконтролером.

Проведене тестування CdTe датчиків показало їх стабільність та дало можливість знайти коефіцієнти приведення датчиків до однакової ефективності лічби.

Експериментально встановлено, що датчики працездатні в цілодобовому режимі роботи протягом 336 годин, при цьому час виходу датчиків на робочий режим склав 2,2 години. Встановлена можливість тимчасового відновлення робочого режиму CdTe датчиків, що мають незадовільні шумові характеристики, шляхом впливу на них імпульсу струму.

Третій розділ присвячено розробці фізико-математичної моделі визначення напрямку в просторі на точкові ДГВ, включаючи імпульсні, а також поглиначів гамма-квантів.

Фізико-математична модель основана на виведених формулах, що пов'язують напрямок на ДГВ із товщиною поглиначів, та визначених співвідношеннях коефіцієнтів пропускання за відповідними товщинами поглиначів одного датчика до іншого для даного напрямку, що є коефіцієнтами пропорційності.

Визначена форма асиметричних поглиначів, необхідна кількість та їх розташування, що дозволило не затінювати поглиначі та однозначно визначити напрямок у просторі на точкові ДГВ, включаючи імпульсні.

Товщина одного з них (рис. 2 а) не залежить від напрямку на ДГВ. В ньому детектор D_1 розташований в центрі коаксіального циліндра-поглиначів (КЦ) товщиною 40 мм, з постійним коефіцієнтом ослаблення гамма-випромінювання в діапазоні кутів 2π радіан.

Товщина другого поглиначів-«ракушки» (ПР) (рис. 2 б) залежить від напрямку на ДГВ в горизонтальній площині, де детектор D_2 розташований у внутрішньому геометричному центрі циліндра діаметром 40 мм, в поглиначі зі змінним коефіцієнтом ослаблення. Показано, що для визначення напрямку в горизонтальній площині в ПР зовнішня поверхня задана формулою

$$h = c + b \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}, \quad (1)$$

де h – товщина поглинача залежно від напрямку на ДГВ, мм; $c=10$ мм – задана константа, що визначає мінімальну товщину поглинача зі сталі для кута $\alpha=0^\circ$; $b=60$ мм – задана константа, що визначає максимальну товщину поглинача зі сталі; α – кут у діапазоні від 0° до 360° .

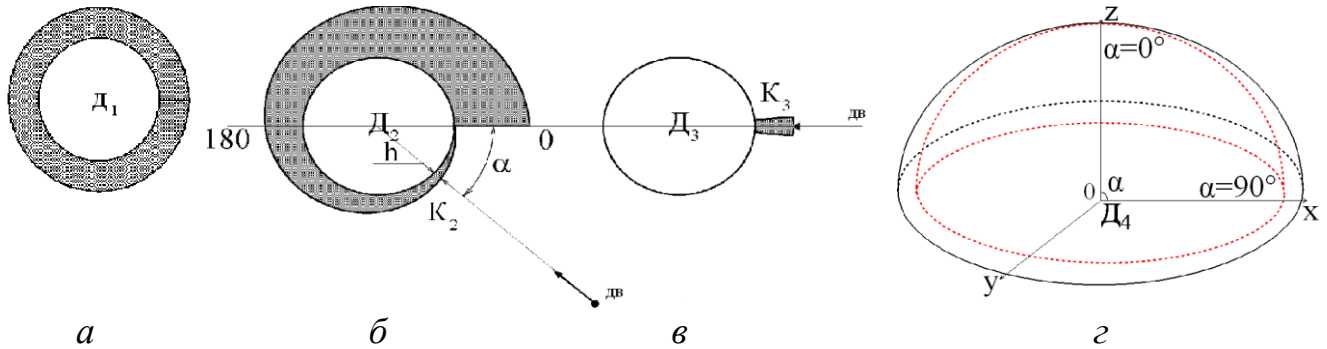


Рисунок 2 – Форми асиметричних поглиначів:

- a* – детектор D_1 , поміщений в поглинач з постійним коефіцієнтом ослаблення;
- б* – детектор D_2 , поміщений в поглинач зі змінним коефіцієнтом ослаблення;
- в* – детектор D_3 , екранований секторним поглиначем;
- г* – детектор D_4 поміщений в поглинач, що являє собою пустотілу півкулю зі змінним коефіцієнтом ослаблення

Поглинач з детектором D_3 (рис. 2 в) є секторним поглиначем (СП), який являє собою сектор коаксіального циліндра товщиною 40 мм у діапазоні кутів $359^\circ \div 1^\circ$, використовується для виключення неоднозначності визначення кутів, близьких до 0° у горизонтальному напрямку.

Поглинач (рис. 2 г) з детектором D_4 являє собою поглинач-півкулю (ПП) та призначений для визначення напрямку в просторі. ПП є пустотілим в середині, а товщина його стінки змінюється від максимального до мінімального значення в діапазоні кутів від 90° до 0° у вертикальному напрямку відповідно до формули

$$h_4 = c + b \cdot \frac{\alpha}{90^\circ}, \quad (2)$$

де h_4 – товщина поглинача залежно від напрямку на ДГВ, мм; $c=5$ мм – задана константа, що визначає мінімальну товщину поглинача у вертикальному напрямку для $\alpha=0^\circ$; $b=65$ мм – задана константа, що визначає максимальну товщину поглинача в горизонтальному напрямку; α – кут у діапазоні від 0° до 90° , але необхідно зазначити, що 0° відповідає вертикальному напрямку, а 90° – горизонтальному.

Надалі проведено теоретичне визначення співвідношень щільності потоку за відповідними товщинами асиметричних поглиначів: ПР до КЦ, СП до КЦ, ПП до КЦ, що є відношенням коефіцієнтів пропускання відповідних датчиків та названо коефіцієнтами пропорційності (K_{II}). Отримані розрахункові формули для цих коефіцієнтів

$$K_{II} = \exp(-\mu(h_{АП} - h_{КЦ})), \quad (3)$$

де $h_{АП}$ – товщина ПР, ПП або СП у напрямку на ДГВ, см; $h_{КЦ}$ – товщина КЦ у напрямку на ДГВ, см; μ – лінійний коефіцієнт ослаблення, см^{-1} .

Для визначення напрямку в просторі на точковій ДГВ, включаючи імпульсні, в кульовому поглиначі (КП) запропоновано систему з чотирьох блоків детектування, які розміщені на відстані 10 мм під поверхнею у вершинах правильної піраміди (рис. 3).

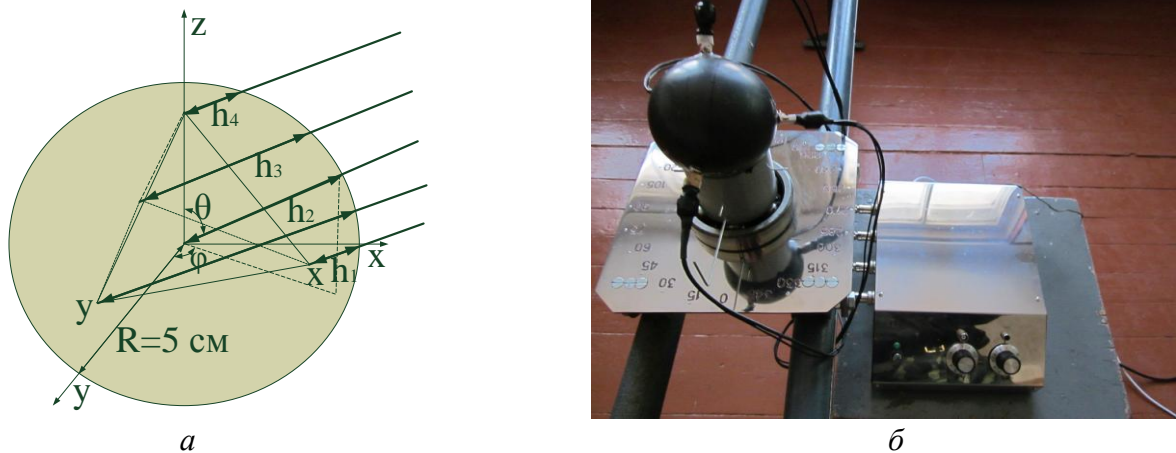


Рисунок 3 – Розташування детекторів в КП:

а – товщини поглиначча перед детекторами в напрямку на ДГВ;

б – загальний вигляд розробленого засобу контролю з КП

Відстань від будь-якої точки правильної піраміди до будь-якої точки поверхні кулі визначається формулою

$$|\overline{PQ_1}| = -(\vec{p} \cdot \vec{v}) + \sqrt{((\vec{p} \cdot \vec{v})^2 + R^2 - r^2)}, \quad (4)$$

де $\overline{PQ_1}$ – вектор від однієї з вершин тетраедра до поверхні кулі; \vec{p} – вектор від початку координат до вершини тетраедру; \vec{v} – вектор, що визначає напрямок; R – радіус обраної кулі, см; r – радіус кулі, описаної навколо правильного тетраедра, см. Координати вектора \vec{v} задаються в системі сферичних координат: $\vec{v} = [\cos\varphi \cdot \sin\theta, \sin\varphi \cdot \sin\theta, \cos\theta]$, де φ – кут від 0° до 360° в площині xy , θ – кут від 0° до 180° від осі z . Розраховано відстані PQ_1 від датчика до поверхні кулі для кожного напрямку на ДГВ у просторі, при зміні кута φ через 15° та при $\theta=90^\circ$, за якими визначались відповідні коефіцієнти пропускання та їх попарне відношення одного датчика до іншого, що становить масив з шістьох теоретичних коефіцієнтів пропорційності

$$K_{II} = \exp(-\mu(h_x - h_y)), \quad (5)$$

де h_x , h_y – товщини поглиначча перед детектором x та детектором y при куті між обраною віссю початку координат та напрямком на ДГВ, см; μ – лінійний коефіцієнт ослаблення матеріалу поглиначча, см^{-1} .

Таким чином, розроблено фізико-математичну модель визначення напрямку в просторі на точкові ДГВ, включаючи імпульсні, за формулами (1) – (3) для асиметричних поглиначів та за формулами (4) – (5) для кульового поглинача.

У четвертому розділі проведено удосконалення методу, запропоновано прецизійний метод з використанням асиметричних поглиначів та розроблено засіб для визначення напрямку в просторі на точкові ДГВ, включаючи імпульсні.

Метод визначення напрямку на ДГВ, включаючи імпульсні, ґрунтується на визначенні попарного відношення сигналів одного до іншого, що отримані від датчиків, розташованих у вершинах піраміди чи у вершинах трикутника в КП (рис. 3), або визначення відношення сигналів, що отримані від датчиків, розташованих в асиметричних поглиначих, до сигналу з датчика, що розташований в поглиначі з постійним коефіцієнтом ослаблення. Зазначені відношення являють собою масив з шістьох практично отриманих коефіцієнтів пропорційності для кожного кута в просторі

$$K_{\Pi} = \frac{j_x}{j_y}, \quad (6)$$

де j_x , j_y – щільність потоку (або амплітуди) гамма-квантів на детекторі x та детекторі y .

Під час визначення напрямку на постійні точкові ДГВ як сигнали використовуються щільності потоку гамма-квантів, що зареєстровані детекторами, а під час визначення напрямку на імпульсні – амплітуди гамма-імпульсу.

Здійснено порівняння практично отриманих коефіцієнтів пропорційності, які знайдені за формулою (6) з коефіцієнтами пропорційності, що отримані за формулами (3) або (5). За збігом цих відношень визначаємо відповідний кут у просторі на ДГВ. Найбільш точно кут у просторі на ДГВ визначається під час проведення калібрування розробленого засобу контролю, що полягає в експериментальному отриманні коефіцієнтів пропорційності для всіх кутів у просторі та можливих енергій ДГВ.

Прецизійний метод полягає у комплексному визначенні напрямку на постійні точкові ДГВ на основі асиметричних поглиначів і дозволяє підвищити точність вимірювання в площині, похибка якого не виходить за $\pm 0,01^\circ$. При цьому після визначення кута на ДГВ всі чотири поглиначі повертаються межею між мінімальною та максимальною товщиною ПР у визначеному напрямку так, що ДГВ буде розташовуватись у межах кута $0^\circ \pm 1^\circ$ для ПР, що визначається рівністю сигналів з датчиків у КЦ та за СП. Це дозволяє, при подальшому повертанні поглинача-«ракушки» в діапазоні кутів $0^\circ \pm \alpha$, прецизійно визначити кут на ДГВ за максимальною швидкістю лічби.

Розроблено засіб контролю, що включає в себе поєднання асиметричних або кульового поглиначів із блоками детектування та аналізатором імпульсів гамма-випромінювання, який виводить зареєстровані сигнали від датчиків на персональний комп'ютер.

Таким чином, обґрунтовано застосування методів та засобу контролю, що дозволило проводити визначення напрямку на точкове ДГВ.

У п'ятому розділі наведено результати практичної реалізації методів та засобу контролю визначення напрямку на точкове ДГВ з використанням гамма-джерела.

Проведено експериментальні дослідження з визначення напрямку на точкове ДГВ засобом контролю з асиметричними поглиначами із застосуванням гамма-джерела ^{137}Cs в горизонтальній площині. Вимірювання виконано в діапазоні кутів від 0° до 360° з кроком 15° , а також у точках $-1^\circ, 2^\circ, 3.75^\circ, 7.5^\circ, 11.25^\circ, 348.75^\circ, 352.5^\circ, 356.25^\circ, 358^\circ, 359^\circ$. При цьому середнє квадратичне відхилення результатів прямих вимірювань з багатократними (21 вимірювання в кожній точці) спостереженнями не виходило за межі $\pm 4\%$. Напрямок на точкове ДГВ визначався за коефіцієнтом пропорційності за формулою (6). В результаті отримано залежність коефіцієнта пропорційності від кута в горизонтальній площині (рис. 4 а), яку було порівняно з теоретично розрахованою.

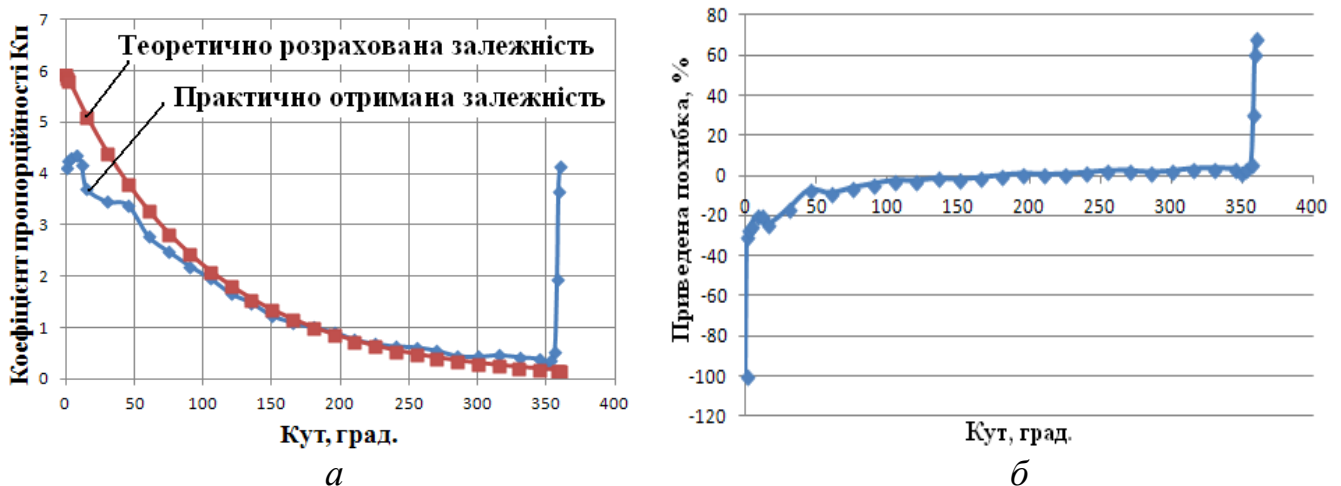


Рисунок 4 – Результати експерименту з ПР:

- а – порівняння експериментальної та теоретичної залежності коефіцієнта пропорційності від кута в горизонтальній площині;
- б – залежність приведеної похибки від кута на ДГВ для ПР

На рисунку 4 б наведено залежність приведеної похибки від кута на ДГВ для засобу контролю з ПР. Аналіз отриманої похибки показав, що експериментально отримані та теоретично розраховані коефіцієнти пропорційності практично не відрізняються один від іншого за виключенням їх значень в початкових діапазонах кутів.

Установлено, що в районі 0° це обумовлено розсіюванням гамма-випромінювання на межі максимальної та мінімальної товщини ПР, а в інших відносно малих діапазонах кутів – відхиленням товщини поглинача від оптимальної товщини фільтра для даної енергії ДГВ.

Необхідно зазначити, що приведена похибка змінює знак на протилежний під час переходу через оптимальну товщину фільтра. Під час аналізу приведеної похибки від кута в площині з'ясовано, що діапазон кутів для ПР від 90° до 356°

дозволяє визначати напрямок на ДГВ зі значенням, яке не перевищує 6 % від зазначеного діапазону кутів, тобто $\approx 16^\circ$. В діапазоні кутів для ПР від 180° до 225° приведена похибка не перевищує 1 %, що дозволяє в його межах визначати напрямок на ДГВ з похибкою, яка не виходить за межі $\pm 0,45^\circ$.

Оскільки товщини ПР та ПП ідентичні та змінюються від 1 см до 7 см, у вертикальній площині проведено розрахунок коефіцієнтів пропорційності залежно від кутів для діапазону від 7° до 87° . Показано, що в діапазоні кутів від 0° , що відповідає горизонтальному напрямку, до 33° не буде розходжень під час визначення напрямку у зв'язку з висотою асиметричних поглиначів, яка дорівнює 8 см. У вертикальній площині від 0° до 33° збільшується градієнт товщини в 4,8 раза, що підвищує точність вимірювання у даному діапазоні кутів.

Проведено експериментальні дослідження з прецизійного визначення напрямку в площині на ДГВ засобом контролю з асиметричними поглиначами. При цьому всі поглиначі повертались від кута 0° до раніше визначеного кута, що отриманий, як зазначено вище, з середньоквадратичним відхиленням $\pm 4\%$. Цей напрямок визначався за рівністю швидкості лічби на детекторах, що розташовані в КЦ та за СП. Встановлено, що на межі між максимальною та мінімальною товщиною ПР коефіцієнт пропорційності різко змінюється від мінімального значення до максимального. Для підвищення репрезентативності експерименту після розташування гамма-джерела в області кутів $359^\circ \pm 1^\circ$ ПР повертався з кроком $0,0138^\circ$. Поступовому відкриванню детектора з-під ПР відповідало збільшення швидкості лічби імпульсів, що відповідає максимальному значенню при куті $0^\circ \pm 0,0138^\circ$ (рис. 5).

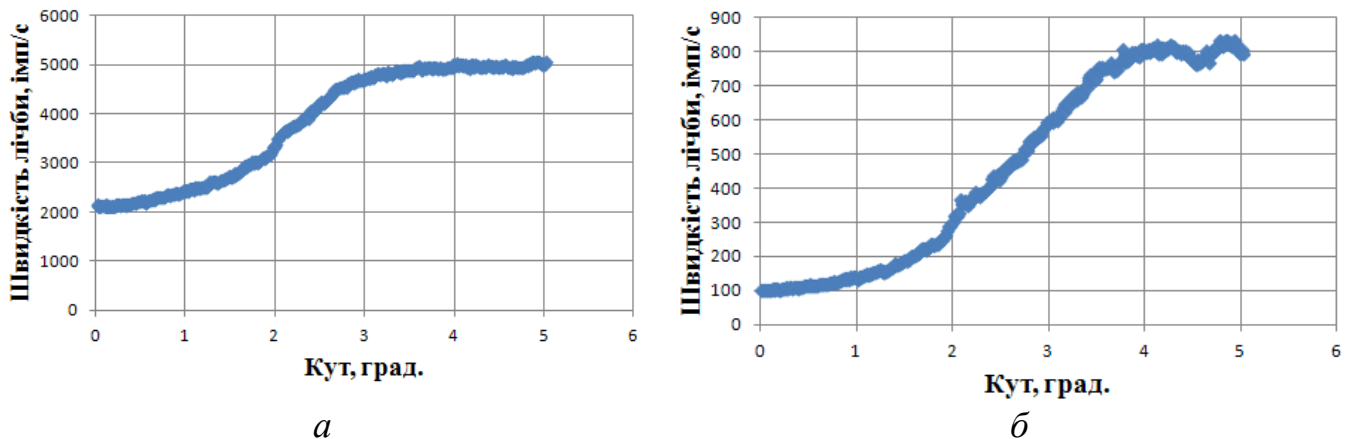
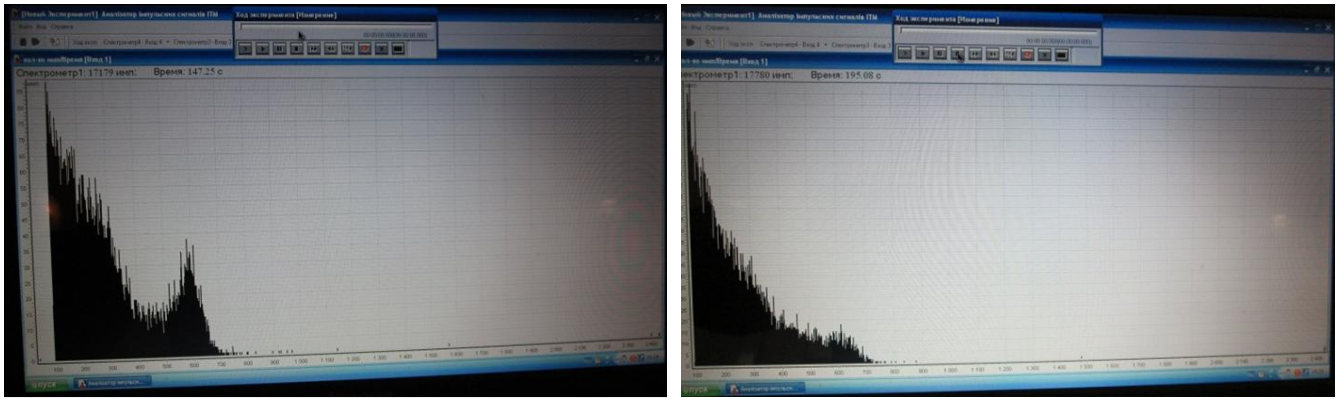


Рисунок 5 – Залежність швидкості лічби від напрямку на ДГВ:
а – сталевий поглинач; *б* – свинцевий поглинач

Під час визначення напрямку на ДГВ з кроком $0,138^\circ$ виявлено ефект збільшення величини розсіювання при проходженні гамма-квантів поблизу мідно-свинцевої поверхні на межі максимальної та мінімальної товщини ПР. У даному випадку ПР являє собою геометричну форму з мідної катаної фольги, що заповнена свинцевими кульками. На початку вимірювання гамма-випромінювання спрямовували крізь максимальну товщину поглинача, а на аналізаторі гамма-випромінювання фіксували пік повного поглинання та частину спектра комптонівського розсіювання (рис. 6 *а*).

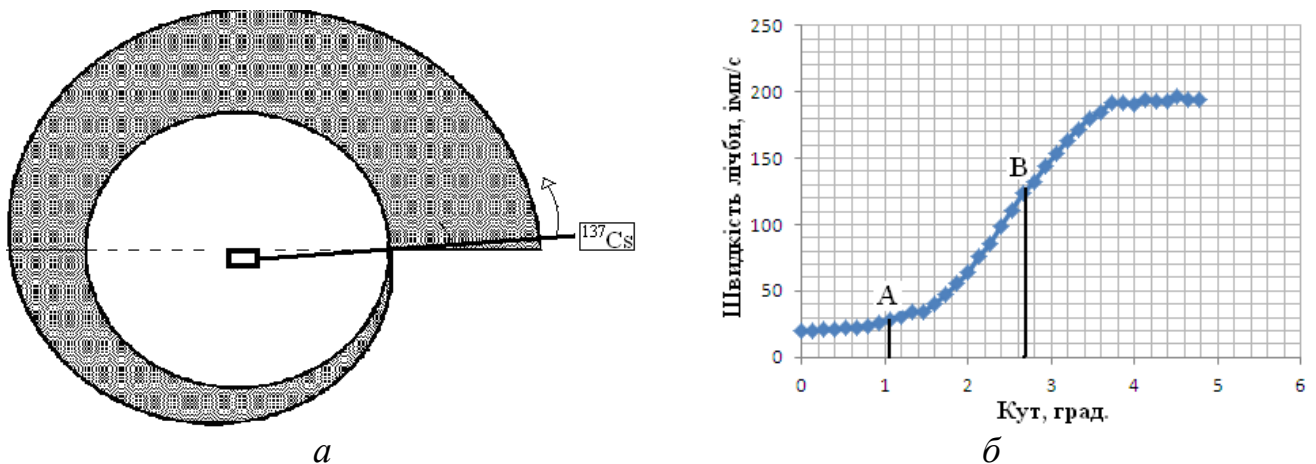


а *б*
Рисунок 6 – Зміна величини розсіювання гамма-випромінювання під час проходження вздовж мідно-свинцевої поверхні

Після цього ПР було повернуто в бік зменшення його товщини, при цьому спостерігалось збільшення розсіювання за зменшенням площини піку повного поглинання до рівня долини між краєм комптонівського розсіювання та піком повного поглинання (рис. 6 б). Треба зазначити, що за цих умов гамма-випромінювання проходило частково крізь поглинач та майже паралельно мідно-свинцевої поверхні максимальної товщини поглинача.

При подальшому переміщенні ПР у бік зменшення його товщини спостерігалось «відновлення» піка повного поглинання до величини, що характерна для піка повного поглинання при проходженні гамма-випромінювання крізь максимальну товщину поглинача (рис. 6 а).

На рисунку 7 а зображено схему експерименту та розташування детектора в ПР, а на рисунку 7 б – залежність швидкості лічби від кута на ДГВ та інтервал кутів, при яких суттєво зменшується пік повного поглинання.



а *б*
Рисунок 7 – Схема експерименту зі зміни величини розсіювання та залежність швидкості лічби від кута на ДГВ:
а – розташування детектора в ПР; *б* – інтервал А–Б відповідає діапазону кутів, де зменшується площа піку повного поглинання

Таким чином, проведені експериментальні дослідження показали, що прецизійне визначення напрямку на ДГВ здійснюється в області кутів $359^{\circ} \div 1^{\circ}$ ПР. Крім того, з цією ж метою можна використовувати ефект збільшення величини

розсіювання при проходженні гамма-квантів поблизу мідно-свинцевої поверхні. Визначений кут буде відповідати напрямку на гамма-джерело з похибкою, яка не виходить за межі $\pm 0,0138^\circ$.

Проведено експериментальне дослідження визначення напрямку на точкове ДГВ у просторі засобом з КП та чотирма блоками детектування із застосуванням ДГВ ^{137}Cs . КП обертали з кроком 15° для кута φ в діапазоні від 0° до 360° , $\theta=90^\circ$ (в сферичній системі координат). При кожному вимірюванні фіксувалась кількість імпульсів на чотирьох детекторах та розраховувались їх відношення, що визначалось шістьма коефіцієнтами пропорційності. При цьому середнє квадратичне відхилення результатів прямих вимірювань з багатократними (21 вимірювання в кожній точці) спостереженнями не виходило за межі $\pm 4\%$. За отриманими результатами побудовано залежність коефіцієнтів пропорційності від кута та проведено її порівняння із теоретично розрахованою (рис. 8). Аналіз цих залежностей показує, що весь діапазон кутів φ можна розбити на шість піддіапазонів, де напрямок на ДГВ буде визначатися за трьома $K_{\text{п}}$ з мінімальною похибкою.

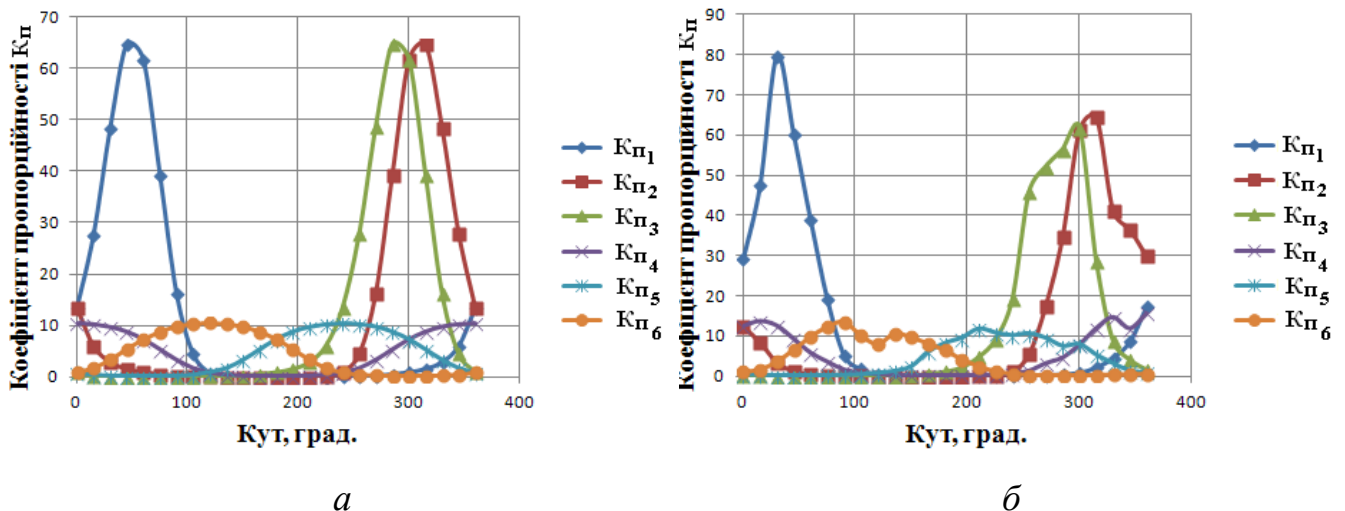


Рисунок 8 – Залежність коефіцієнтів пропорційності КП від кута в просторі:
a – теоретично розрахована; *б* – експериментально отримана

Залежність приведеної похибки від кута на ДГВ для засобу контролю з КП у кожному з цих піддіапазонів наведено в таблиці 1. Похибка визначалась як різниця експериментальних та теоретичних коефіцієнтів пропорційності, поділених на діапазон вимірювання теоретичних коефіцієнтів пропорційності, результат помножений на 100. Дані, що наведені в таблиці 1 дозволяють визначити кут на ДГВ в залежності від піддіапазону, в якому похибка визначення напрямку не перевищує 6° .

Визначено, що точність визначення напрямку підвищується, якщо провести калібрування розробленого засобу.

На рисунку 9 для КП зображені довірчі інтервали першого коефіцієнта пропорційності залежно від кута в просторі на ДГВ, в межах яких знаходяться абсолютні значення похибок визначення відповідних коефіцієнтів пропорційності з довірчою імовірністю $\gamma = 0,95$. Аналогічним чином виконано дослідження для решти п'яти коефіцієнтів пропорційності КП.

Таблиця 1 – Розподіл кута φ по піддіапазонах, $\theta = 90^\circ$

| Піддіапазон кутів φ , град. | 345°- 30° | 30°- 120° | 120°- 195° | 195°- 240° | 240°- 315° | 315°- 345° |
|---|---|---|---|---|---|---|
| K_{II} , що відповідає за визначення кута у вище зазначеному піддіапазоні | K_{II3} , K_{II5} , K_{II6} | K_{II2} , K_{II3} , K_{II5} | K_{II1} , K_{II2} , K_{II3} | K_{II1} , K_{II2} , K_{II4} | K_{II1} , K_{II2} , K_{II6} | K_{II1} , K_{II5} , K_{II6} |
| Модуль приведеної похибки K_{II} не перевищує, % | 3,37 | 0,91 | 1 | 1,6 | 7 | 3,9 |
| Похибка визначення напрямку на ДГВ в піддіапазонах кутів, град. | 1,5 | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 5,3 | 1,2 |

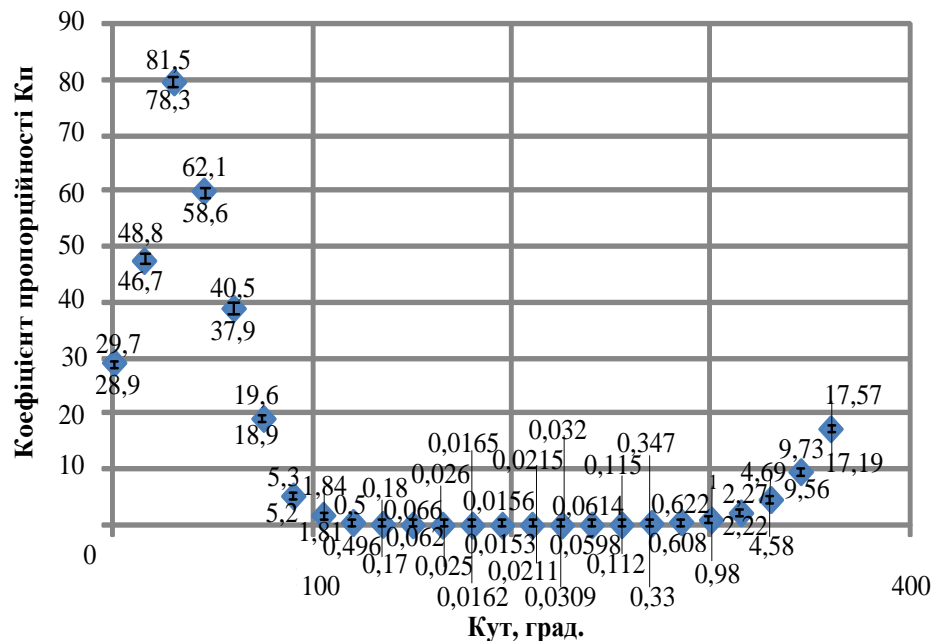


Рисунок 9 – Довірчі інтервали першого коефіцієнта пропорційності від кута в просторі на ДГВ для КП

Аналіз отриманих довірчих інтервалів коефіцієнтів пропорційності показав, що у разі калібрування розробленого засобу контролю похибка визначення напрямку на точкові гамма-джерела не буде виходити за межі $\pm 4\%$ від діапазону кутів 0° – 360° при постійному θ . Слід зазначити, що в даному випадку масив шістьох коефіцієнтів пропорційності можна використовувати для будь-яких кутів у просторі.

Проведено моделювання визначення напрямку на імпульсне точкове ДГВ шляхом використання оптичного джерела електромагнітного випромінювання з використанням КП. При цьому визначена доцільність використання показань значень амплітуд на чотирьох аналізаторах імпульсів, які будуть пропорційні кількості гамма-квантів, зареєстрованих детекторами, для визначення напрямку на імпульсне ДГВ.

ВИСНОВКИ

У результаті дисертаційного дослідження вирішено науково-практичну задачу підвищення точності визначення напрямку в просторі на точкові гамма-джерела постійного та імпульсного характеру.

Основні наукові та прикладні результати роботи полягають у такому:

1. Проведений аналіз науково-технічних джерел встановив необхідність розвитку методів та пристроїв для визначення напрямку на джерела гамма-випромінювання, включаючи імпульсні. Визначено сучасний стан питання, сформульовано та обґрунтовано доцільність та перспективність подальших досліджень за зазначеними напрямками.

2. Удосконалено фізико-математичну модель визначення напрямку в просторі на точкове ДГВ, включаючи імпульсне, асиметричними та кульовим поглиначами, яка дозволила залежно від положення точкового ДГВ у просторі визначити товщину поглиначів та теоретичні коефіцієнти пропорційності, що забезпечують визначення кута, і, відповідно, суттєво підвищити точність методу та розробити прецизійні вимірювачі напрямку на ДГВ.

3. Отримав подальший розвиток метод визначення напрямку в просторі на точкове постійне та імпульсне ДГВ за рахунок використання фізико-математичної моделі, теоретичних коефіцієнтів пропорційності, що дозволило визначити діапазони кутів з оптимальною товщиною фільтра, де похибка має мінімальні значення, та необхідність проведення калібрування розробленого засобу для всіх кутів у просторі та енергій ДГВ.

4. Розроблено прецизійний метод з використанням засобу для визначення напрямку на точкові ДГВ з асиметричними поглиначами, похибка вимірювання якого не виходить за межі $\pm 0,0138^\circ$, що дозволяє визначати напрямок межею між максимальною та мінімальною товщиною асиметричного поглинача, при цьому встановлено ефект збільшення величини розсіювання гамма-квантів під час проходження їх вздовж мідно-свинцевої поверхні.

5. Проведені експериментальні дослідження з визначення напрямку на точкове ДГВ ^{137}Cs . Перевірка розробленого засобу контролю з асиметричними поглиначами показала, що приведена похибка експериментально отриманих та теоретично розрахованих коефіцієнтів пропорційності від кута в площині в діапазоні кутів для ПР від 90° до 356° дозволяє визначати напрямок на ДГВ з похибкою, що не виходить за межі 6 %, тобто $\approx 16^\circ$, а в діапазоні кутів для ПР від 180° до 225° приведена похибка не перевищує 1 %, що дозволяє в його межах визначати напрямок на ДГВ з похибкою менш ніж $0,45^\circ$. Експериментальна перевірка розробленого засобу з кульовим поглиначем показала, що максимальна приведена похибка для будь-якого піддіапазону кутів не перевищує 7 % і відповідає точності визначення напрямку на ДГВ до 6° .

6. Розроблено і виготовлено кульовий та асиметричні поглиначі, що забезпечують високоточне визначення напрямку в просторі на точкові ДГВ, включаючи імпульсні, блоки детектування з розташованими в них датчиками і чотири багатоканальні аналізатори імпульсів гамма-випромінювання, які

працюють в спектрометричному режимі одночасно, що забезпечує можливість порівняння отриманих сигналів. Безперервне тестування аналізатора гамма-випромінювання протягом семи діб показало стабільність роботи датчиків.

7. Результати дисертаційної роботи впроваджені в державній установі «Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва Національної академії медичних наук України», в ХНУ ім. В.Н. Каразіна, на факультеті військової підготовки НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Білик З. В. Визначення напрямку на точкове джерело фотонного випромінювання в площині / О. М. Григор'єв, О. В. Сакун, З. В. Білик // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – Харків, 2011. – Вип. 2 (28). – С. 173–176.

Здобувачем виконані розрахунки поглиначів з урахуванням оптимальної товщини фільтра та проведене математичне моделювання визначення напрямку на гамма-джерела за коефіцієнтами пропускання гамма-випромінювання.

2. Білик З. В. Визначення напрямку на точкові джерела фотонного випромінювання в площині, включаючи імпульсні / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, О. В. Сакун, В. В. Марущенко // Вісник НТУ «ХП». – Харків, 2012. – № 41. – С. 111–117.

Здобувачем проведена експериментальна перевірка стабільності роботи розробленого аналізатора імпульсів із поглиначами (ракушка, коаксіальний циліндр, секторний поглинач) для виміру напрямку на джерела гамма-випромінювання, яка показала можливість визначення як кількості гамма-квантів, так і їх енергії.

3. Білик З. В. Прецизійний метод визначення напрямку на точкове гамма-джерело / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, О. В. Сакун, В. В. Марущенко // Військово-технічний збірник. – Львів, 2012. – № 2 (7). – С. 25–28.

Здобувачем виконана експериментальна перевірка розробленого прецизійного методу визначення напрямку на точкове гамма-джерело, а також перевірено можливість зміни чутливості розробленого засобу з використанням поглиначів із свинцю, заліза, барію.

4. Bilyk Z. V. Alpha-, beta-, gamma-radiometric measurements using semiconductor detectors / A. N. Grigoryev, A. V. Sakun, V. V. Marushchenko, Z. V. Bilyk, Yu. V. Litvinov, O. Yu. Chernyavsky, E. Voronkin // Functional Materials 21. – Kharkiv, 2014. – Vol. 196. – № 3. – P. 352–355.

Здобувачем проведене тестування телурид кадмієвих детекторів на стабільність роботи та визначена залежність швидкості лічби від потужності дози гамма-джерела.

5. Білик З. В. Эффект увеличения комптоновского рассеяния гамма-квантов при прохождении их вдоль металлической поверхности / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, Ю. В. Литвинов, О. В. Сакун, В. В. Марущенко, О. Ю. Чернявский // Ядерна та радіаційна безпека. – Київ, 2014. – № 3 (63). – С. 33–35.

Здобувачем проведені експериментальні дослідження, що виявили ефект збільшення величини комптонівського розсіювання гамма-квантів при проходженні їх вздовж мідно-свинцевої поверхні.

6. Білик З. В. Визначення напрямку та шару захоронення точкових джерел гамма-випромінювання з використанням гамма-спектрометрії / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, Ю. В. Литвинов, М. Є. Полянський, В. В. Марущенко, О. Ю. Чернявський // Вісник НТУ «ХП». – Харків, 2016. – № 19 (1128). – С. 67–73.

Здобувачем проведені експериментальні дослідження з визначення напрямку на точкові гамма-джерела та шару їх захоронення за зменшенням кількості гамма-квантів в піку повного поглинання.

7. Спосіб визначення напрямку на імпульсні джерела гамма-випромінювання : пат. 108262 UA, МПК G21J5/00 / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, О. В. Сакун, В. В. Марущенко ; власник НТУ«ХП». – № а 201305335 ; заявл. 25.04.2013 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7.

Здобувачем запропоновано для визначення напрямку на імпульсні джерела гамма-випромінювання підраховувати відношення амплітуд гамма-імпульсу одна до одної.

8. Спосіб визначення напрямку на постійні точкові джерела гамма-випромінювання в просторі : пат. 85910 UA, МПК G01T1/16, G01T1/167, G01T1/169 / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, О. В. Сакун, В. В. Марущенко ; власник НТУ«ХП». – № u 201305330 ; заявл. 25.04.2013 ; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 23.

Здобувачем запропоновано використовувати задану геометричну форму поглиначів для визначення відповідної щільності потоку фотонів у просторі.

9. Прецизійний спосіб визначення напрямку на точкове гамма-джерело : пат. 85911 UA, МПК G01T1/16, G01T1/167, G01T1/169 / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, О. В. Сакун, В. В. Марущенко ; власник НТУ«ХП». – № u 201305334 ; заявл. 25.04.2013 ; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 23.

Здобувачем запропоновано повертання асиметричного поглинача межею між мінімальною та максимальною товщиною асиметричного поглинача на джерело гамма-випромінювання.

10. Пристрій для визначення напрямку в просторі на точкові постійні та імпульсні джерела гамма-випромінювання : пат. 85493 UA, МПК G01T1/16, G01T1/167, G01T1/169, G21J5/00 / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, О. В. Сакун, В. В. Марущенко ; власник НТУ«ХП». – № u 201305331 ; заявл. 25.04.2013 ; опубл. 25.11.2013, Бюл. № 22.

Здобувачем запропоновано використовувати чотири багатоканальні аналізатори імпульсів, що працюють одночасно.

11. Білик З. В. Визначення напрямку в просторі на точкові джерела проникаючого випромінювання, у тому числі імпульсні / З. В. Білик, О. М. Григор'єв, О. В. Сакун, В. В. Марущенко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : Матеріали XX Міжнар. наук.-практ. конф. – Харків : НТУ “ХП”, 2012. – С. 137.

Здобувачем проведено математичне моделювання визначення напрямку на джерела гамма-випромінювання з використанням кульового поглинача та створено кульовий поглинач.

12. Білик З. В. Прецизійний метод визначення напрямку на точкове гамма-джерело / З. В. Білик, О. М. Григор'єв, О. В. Сакун, В. В. Марущенко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : Матеріали XXI Міжнар. наук.-практ. конф. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2013. – С. 138.

Здобувачем проведено розрахунок точності визначення напрямку на точкове гамма-джерело при використанні прецизійного методу.

13. Білик З. В. Діючий макет пристрою для підвищення захисту танка від металюї дії ударної хвилі та гамма-випромінювання ядерного вибуху / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, О. В. Сакун, В. В. Марущенко // Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ : Матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. – Львів : АСВ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, 2013. – С. 207–208.

Здобувачем проведено розрахунок підвищення захисту танка від металюї дії ударної хвилі ядерного вибуху при використанні розробленого засобу з кульовим поглиначем.

14. Білик З. В. Вимірювання напрямку на джерело гамма-випромінювання в просторі з використанням асиметричного поглинача / З. В. Білик, О. М. Григор'єв, Ю. В. Литвинов, В. В. Марущенко, О. В. Сакун, О. Ю. Чернявський // Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики : Матеріали XXI Междунар. конф. – Гурзуф : Украинский информационный Центр “Наука. Техника. Технология”, 2013. – С. 179–180.

Здобувачем проведено математичне моделювання визначення напрямку на гамма-джерело за коефіцієнтами пропускання для поглинача-півкулі.

15. Білик З. В. Визначення напрямку в просторі на точкові джерела гамма-випромінювання / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, О. В. Сакун, В. В. Марущенко // Приладобудування. Стан і перспективи : Матеріали XII Міжнар. наук.-техн. конф. – Київ : НТУ “КПІ”, 2013. – С. 216.

Здобувачем проведено експериментальні дослідження розробленого засобу з кульовим поглиначем при використанні постійного точкового джерела гамма-випромінювання.

16. Білик З. В. Пристрої для визначення напрямку на гамма-джерела / О. М. Григор'єв, З. В. Білик, Ю. В. Литвинов, О. В. Сакун, В. В. Марущенко, О. Ю. Чернявський // Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України : Матеріали наук.-техн. семінару. – Харків : НАНГУ, 2014. – С. 37–39.

Здобувачем проведено порівняння теоретичних та експериментальних даних з визначення напрямку на точкові гамма-джерела для асиметричних поглиначів та кульового поглинача.

17. Билык З. В. Определение направления на источник гамма-излучения с применением гамма-спектрометрии / А. Н. Григорьев, З. В. Билык, Ю. В. Литвинов, В. В. Марущенко, А. В. Сакун, О. Ю. Чернявський // Спільні дії військових формувань держави : проблеми та перспективи : Матеріали

Всеукраїнської наук.-практ. конф. – Одеса : Військова Академія, 2014. – С. 166–167.

Здобувачем проведено експериментальну перевірку додаткового використання при прецизійному визначенні напрямку на джерело гамма-випромінювання, ефекту збільшення комптонівського розсіювання при проходженні гамма-квантів поблизу мідно-свинцевої поверхні.

18. Білик З. В. Визначення напрямку на гамма-джерело з використанням кругового та асиметричного поглинача / З. В. Білик, О. М. Григор'єв, Ю. В. Литвинов, В. В. Марущенко, О. В. Сакун, О. Ю. Чернявський // Спільні дії військових формувань держави : проблеми та перспективи : Матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. – Одеса : Військова Академія, 2014. – С. 165–166.

Здобувачем проведено експеримент із свинцевим і сталевим поглиначем «ракушкою» для прецизійного визначення напрямку на джерело гамма-випромінювання.

19. Білик З. В. Засоби визначення напрямку в просторі на гамма-джерела, включаючи імпульсні / З. В. Білик, О. М. Григор'єв, О. В. Сакун, В. В. Марущенко, О. Ю. Чернявський, Ю. В. Литвинов, М. Є. Полянський // Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України : Матеріали інформаційно-комунікативного заходу. – Київ : ТОВ «Міжнародний виставковий центр», 2015. – С. 149–152.

Здобувачем проведено розрахунок стандартної похибки середнього значення коефіцієнтів пропорційності та приведеної похибки, що визначена при порівнянні експериментальних даних з математичною моделлю, для розроблених засобів контролю з асиметричними поглиначами та з кульовим поглиначем.

20. Білик З. В. Засіб визначення напрямку в просторі на імпульсні гамма-джерела та засічки ядерних вибухів / З. В. Білик, О. М. Григор'єв, Ю. В. Литвинов, М. Є. Полянський, О. В. Сакун, В. В. Марущенко // Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки : Матеріали VI наук.-техн. конф. – Київ : ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2015. – С. 333–334.

Здобувачем проведено розрахунок можливості використання розробленого засобу для визначення параметрів імпульсних джерел гамма-випромінювання.

АНОТАЦІЇ

Білик З.В. Метод та засіб контролю для визначення напрямку на точкові джерела гамма-випромінювання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2017.

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу підвищення точності визначення напрямку в просторі на точкове джерело гамма-випромінювання (ДГВ) постійного та імпульсного характеру.

Вперше розроблено прецизійний метод з використанням засобу для визначення напрямку на точкові ДГВ з асиметричними поглиначами в площині, похибка вимірювання якого не виходить за межі $\pm 0,0138^\circ$, за рахунок визначення напрямку межею між максимальною та мінімальною товщиною асиметричного поглинача. Вперше встановлено ефект збільшення величини розсіювання гамма-квантів при проходженні їх вздовж мідно-свинцевої поверхні, використання якого дозволило суттєво підвищити точність визначення напрямку на точкове ДГВ. Запропоновано фізико-математичну модель визначення напрямку в просторі на точкове ДГВ, включаючи імпульсне, асиметричними та кульовим поглиначами, яка дозволила залежно від положення точкового ДГВ у просторі визначити товщину поглиначів та теоретичні коефіцієнти пропорційності, що забезпечують визначення кута, і, відповідно, суттєво підвищити точність методу та розробити прецизійні вимірювачі напрямку на ДГВ. Отримав подальший розвиток метод визначення напрямку в просторі на точкове постійне та імпульсне ДГВ за рахунок використання фізико-математичної моделі та теоретичних коефіцієнтів пропорційності, що отримані з відношення коефіцієнтів пропускання детекторів, проведення калібрування розробленого засобу для всіх кутів у просторі та енергій ДГВ, а також використання чотирьох блоків детектування з багатоканальними аналізаторами імпульсів гамма-випромінювання, які працюють у спектрометричному режимі одночасно. Розроблено засоби для визначення напрямку на гамма-джерело з асиметричними та кульовим поглиначами, що дозволяють проектувати пристрої для визначення напрямку на гамма-джерело, включаючи імпульсні. Проведені експериментальні дослідження, що показали можливість визначення напрямку на постійні та імпульсні ДГВ у просторі з похибкою, яка не перевищує 16° . Результати дисертаційної роботи впроваджено в ХНУ ім. В.Н. Каразіна, в державній установі «Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва Національної академії медичних наук України» та на факультеті військової підготовки НТУ «ХП».

Ключові слова: прилади та засоби контролю радіоактивності, ядерна та радіаційна безпека, гамма-випромінювання, напрямок на гамма-джерело, імпульсне джерело, асиметричні поглиначі, кульовий поглинач.

Билык З.В. Метод и средство контроля для определения направления на точечные источники гамма-излучения. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2017.

Диссертация посвящена исследованию проблемных вопросов, которые связаны с усовершенствованием методов и средств для определения направления в пространстве на точечные радиоактивные источники, включая импульсные, и разработке на их основе новых методов и средств.

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача повышения точности определения направления в пространстве на точечные источники гамма-излучения постоянного и импульсного характера.

В работе представлен сравнительный анализ известных методов и средств контроля для определения направления на точечные гамма-источники, показаны их преимущества и недостатки.

Экспериментально исследован объект контроля на основе асимметрических поглотителей и поглотителя в виде шара. Предложена физико-математическая модель, которая связывает направление в пространстве с толщиной поглотителя и теоретическими коэффициентами пропорциональности, которые сравниваются с практически полученными коэффициентами. Усовершенствован метод определения направления на точечные источники гамма-излучения в пространстве, включая импульсные, который основывается на определении отношения сигналов датчиков, расположенных в поглотителях, к сигналу с датчика, который расположен в поглотителе с постоянным коэффициентом ослабления, а также отношения сигналов датчиков одного к другому при использовании шарового поглотителя. Разработано и использовано в эксперименте средство контроля, которое включает в себя поглотители и анализатор гамма-излучения. Анализатор гамма-излучения включает в себя: блоки детектирования с полупроводниковыми теллурид кадмиевыми детекторами и предварительный усилитель, четыре многоканальных анализатора импульсов, которые управляются персональным компьютером. Анализатор гамма-излучения одновременно измеряет количество и энергию гамма-квантов. В ходе работы разработан прецизионный метод определения направления на гамма-источник, который дает возможность определять направление границей между максимальной и минимальной толщиной асимметрического поглотителя, при этом точность определения направления в плоскости составляет $0,0138^\circ$. Кроме того, при проведении прецизионного метода обнаружен эффект увеличения рассеивания при прохождении гамма-излучения вблизи медно-свинцовой поверхности. Практическая реализация средства контроля с асимметрическими поглотителями и шаровым поглотителем, которая выполнена с использованием гамма-источника ^{137}Cs , показала, что измерение количества гамма-квантов или скорости счета блоками детектирования и их отношение одного к другому позволяет, при предварительной калибровке разработанного средства, установить направление на источник гамма-излучения в пространстве с ошибкой среднего значения направления не более 4 % от диапазона углов $\varphi = 0^\circ - 360^\circ$ при $\theta = 90^\circ$.

Выбранные методы обработки результатов и использованная аппаратура дали возможность утверждать, что точность определения направления на точечный гамма-источник в большинстве случаев лучше, чем те, что цитируются в литературе, а возможность метода измерять параметры импульсного гамма-источника практически уникальна. Результаты диссертационной работы внедрены в Харьковском национальном университете имени В.Н. Каразина, в государственном учреждении «Институт медицинской радиологии имени С.П. Григорьева Национальной академии медицинских наук Украины» и на факультете военной подготовки Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Ключевые слова: приборы и средства контроля радиоактивности, ядерная и радиационная безопасность, гамма-излучение, направление на гамма-источник, импульсный источник, асимметрический поглотитель, шаровой поглотитель.

Bilyk Z.V. Method and means of control to determine the direction of point sources of gamma radiation. – The manuscript.

Thesis for a Candidate of Engineering Sciences, specialty 05.11.13 – devices and methods of control and determination of substances. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» Kharkiv, 2017.

The thesis solved the current applied scientific task of improving the accuracy of direction in space at a point source of gamma radiation (SGR) of continuous and pulsed nature.

For the first time it was developed a precise method using the means for determining the direction of the point of SGR with asymmetrical sinks in plane which measurement error is not beyond $\pm 0,0138^\circ$, by determining the direction of the boundary between the maximum and minimum thickness of the asymmetric absorber. The first time it was established the effect of increasing the size of the gamma-quantum rays scattering in passing along their copper-lead surface, the usage of which allowed to significantly increase the accuracy of determination of the direction of the point SGR. The proposed physical-mathematical model to determine the direction in space at point SGR, including pulse, asymmetric and spherical sinks, which allowed depending on the position of point SGR in space to determine the thickness of sinks and theoretical coefficients of proportionality, which ensure the determination of the angle, and therefore significantly increase the accuracy of the method and develop precision measuring direction SGR. Having obtained further development the method of determining the direction in space at point continuous and pulsed SGR through the use of physical and mathematical models and theoretical proportionality coefficients obtained from the ratio of transmission coefficient detectors, calibration developed product for all angles in space and energy SGR, and use of four blocks from the multichannel analyzer detecting pulses of gamma radiation spectrometer operating in standby time. It was developed means of determining the direction of the gamma-ray source with spherical and asymmetrical sinks that allow you to design devices for determining the direction of gamma-ray sources, including pulsed. Experimental studies have shown the ability to determine the direction of continuous and pulsed SGR in space with an error not exceeding 16° . The results of the thesis introduced in Karazin KNU, a state institution «Grigoriev Institute for medical Radiology NAMS of Ukraine», National Academy of Medical Sciences of Ukraine and the military training faculty NTU «KPI».

Keywords: devices and means of control radioactivity, nuclear safety, gamma rays, the direction of the gamma source, pulse power, asymmetrical sinks, ball absorber.

