

УДК 504.064.38+504.064.36:574

О.М. Григор'єв, З.В. Білик, О.В. Сакун, В.В. Марущенко

Гвардійський орден Червоної Зірки факультет військової підготовки імені Верховної Ради України Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків

ПРЕЦИЗИЙНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ НА ТОЧКОВЕ ГАММА-ДЖЕРЕЛО

Запропонований метод для прецизійного визначення напрямку в площині у діапазоні кутів 2π радіан на постійне точкове джерело фотонного випромінювання. Метод реалізований на основі приладу, в який входять три блока детектування гамма-випромінювання на базі телурид-кадмієвих детекторів з поглиначами, чотирьох спектрометричних багатоканальних аналізаторів імпульсів та комп'ютера для обробки інформації. Застосовуються поглиначі трьох видів: асиметричний, секторний та у вигляді коаксіального циліндра.

Ключові слова: *напрямок на джерело випромінювання, джерело фотонного випромінювання, гамма-випромінювання, поглинач, прецизійний.*

Вступ

Потрапляння джерел іонізуючого випромінювання в сферу життєдіяльності людини являє серйозну загрозу її здоров'ю. Так, тривала експлуатація ядерно-фізичних об'єктів підвищує імовірність виникнення нових осередків радіоактивного забруднення навколишнього середовища, крім того невраховані та неконтрольовані джерела іонізуючого випромінювання являють собою велику загрозу провокацій та терористичних актів, також сьогодні в багатьох країнах маються території зі значним радіоактивним забрудненням. Існує гостра необхідність в пошуку, локалізації та моніторингу подібних територій з осередками радіоактивного забруднення навколишнього середовища. Ці осередки мають, як правило, техногенне походження, тому не виключена імовірність їх виникнення і сьогодні. Ліквідація осередків забруднення, що виникли, може проводитись лише після точної локалізації місця знаходження джерел випромінювання. Тому проблема прискореного обстеження місцевості, що забруднена γ -випромінювальними радіонуклідами та пошуку локальних джерел γ -випромінювання, а також розробка методів визначення напрямку на джерело γ -випромінювання має особливу актуальність.

Для вирішення вищезазначених проблем російськими вченими пропонуються методики та апаратура прискореного пошуку локальних джерел гамма-випромінювання на основі багатомодульних детектуючих пристроїв [1, 2]. В залежності від виду задачі, що вирішується, багатомодульні детектуючі пристрої можуть мати різну конфігурацію та комплектуватися різними реєструючими пристроями. Недоліками цих пристроїв є невисока розділювальна здатність по

визначенню напрямку на гамма-джерела, значна вага багатомодульних детектуючих пристроїв.

У роботі [3] проведена робота з приладом для детектування гамма-джерел, в якому кут огляду коліimatorів складає 10° та 5° , результати виміру залежать від енергії гамма-джерела. Недоліком цих пристроїв є значний час пошуку точкових джерел і невисока точність вимірювання.

У роботі [4] пропонується визначати напрямок на γ -джерела за допомогою панорамного датчика, в якому використовується амплітудно-часова модуляція випромінювання, що реєструється детектором. Недоліком панорамного датчика є значний час пошуку точкових джерел, невисока точність вимірювання, наявність частин, що обертаються.

Аналіз робіт [1-8] вказує на переваги запропонованого нами методу: більш висока точність виміру напрямку, незалежність вимірів від енергії γ -джерела.

Метою роботи є розробка методу для точного визначення напрямку на джерело фотонного випромінювання.

Викладення основного матеріалу

В основу розробки методу визначення напрямку на γ -джерело покладено вимірювання щільності потоку фотонів, які проходять крізь поглиначі різної товщини та геометричної форми. Щільність потоку фотонів визначається відповідно до залежності

$$j \approx \frac{A}{R^2} \times \frac{f_n(E)}{h} \times f_d(E),$$

де A – активність джерела γ -випромінювання, бекерель; R – відстань до джерела γ -випромінювання, м; $f_n(E)$ – залежність кількості рахунків від енергії гамма-випромінювання для детектора,

$f_h(E)$ – залежність коефіцієнта поглинання γ -випромінювання від речовини, крізь яку воно проходить (рисунок 1), h – товщина поглиначча, мм.

У роботі [9] показана залежність кількості рахунків від енергії γ -випромінювання для CdZnTe детекторів. При зміні енергії від 0,1 Мев до 1 Мев ефективність реєстрації змінюється в 14 разів.

У роботі [10] проаналізована залежність поглинання γ -випромінювання від енергії в різних речовинах. Наприклад, для свинцю воно зменшується в 26,6 раза у діапазоні 0,1÷1 Мев (рисунок 1).

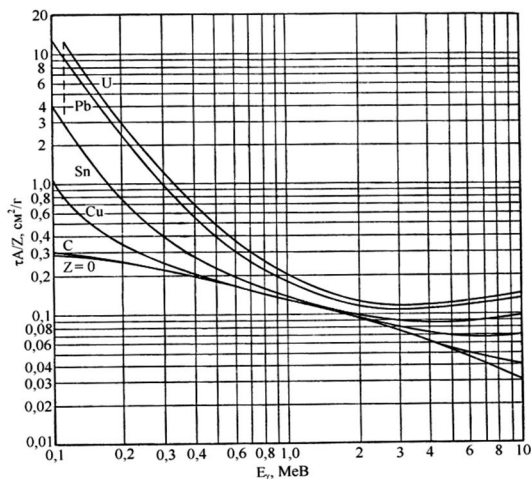


Рис. 1. Поглинання гамма-випромінювання в різних речовинах

Розроблений метод передбачає ділення щільності потоку фотонів, які надходять до одного детектора, на щільність потоку фотонів, що надходять до іншого. З наведеної вище формули випливає, що відношення щільності потоку фотонів з двох детекторів обернено пропорційно відношенню товщини поглиначчів, через які проходять фотони.

Під час експериментальної перевірки методу проводилось синхронне вимірювання кількості імпульсів (вони являють собою щільність потоку фотонів), які надходять з трьох детекторів, поміщених у поглиначчі, від одного точкового джерела гамма-випромінювання Cs^{137} . Товщина одного з поглиначчів залежить від напрямку на джерело, іншого не залежить, а третій являє собою сектор коаксіального циліндра в діапазоні кутів $357^\circ \div 3^\circ$. При діленні кількості імпульсів, що надходять з першого лічильника, на кількість імпульсів, які надходять з другого лічильника, скорочуються невідомі постійні величини, такі як енергія фотонів, відстань від точки вимірювання до джерела випромінювання та його інтенсивність, а отримане значення визначається тільки відношенням товщини поглиначчів у напрямку до джерела

$$\frac{j_1}{j_2} \approx \frac{h_2}{h_1}.$$

При цьому товщина h_1 коаксіального поглиначча відома і є сталою величиною, а h_2 визначається наведеною вище залежністю, і визначене значення відповідає напрямку на джерело γ -випромінювання;

кількість імпульсів j_1, j_2 визначається кількістю γ -квантів, зареєстрованих детекторами. Третій детектор із секторним поглиначчем призначений для визначення напрямку в діапазоні кутів $359^\circ \div 1^\circ$, де значення $\frac{j_1}{j_2}$

змінюється від максимального до мінімального таким самим чином, як і в діапазоні кутів $1^\circ \div 359^\circ$. Поглиначчі та детектори розташовувались один над одним і таким чином не затінювали один одного від джерела γ -випромінювання.

Для експериментальної перевірки способу виготовлений макет, що складається з трьох телурид-кадмієвих детекторів, які розташовані в геометричних центрах відповідно до трьох поглиначчів з круговою симетрією, виготовлених із штаби метала висотою 40 мм та внутрішнім діаметром 70 мм. В геометричних центрах циліндрів поглиначчів розміщувались детектори розміром $4 \times 4 \times 2$ мм [11]. Вимірювання кількості фотонів та їх амплітуди проводили за допомогою трьох багатоканальних аналізаторів імпульсів, що працюють в спектрометричному режимі.

На рисунку 2 представлено перетин циліндра: сірим кольором зображено екран (поглиначч) з постійним коефіцієнтом ослаблення в інтервалі 2π радіан, в центрі якого був розташований перший детектор (D_1).

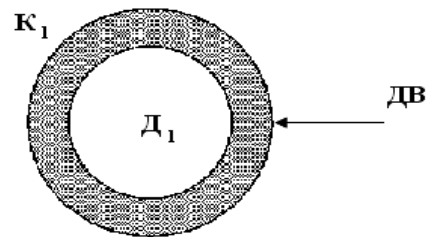


Рис. 2. Детектор (D_1), поміщений в екран з постійним коефіцієнтом ослаблення K_1

Поглиначч являє собою коаксіальний циліндр товщиною 25 мм, заповнений сталевими кульками діаметром 3 мм або свинцевими кульками діаметром 3,75 мм, або вуглекислим барієм. Такі ж наповнювачі були застосовані для двох інших поглиначчів. На рисунку 3а представлено перетин екрана (поглиначча), що рівномірно вигнутий, зі змінним коефіцієнтом ослаблення (сірим кольором позначений поглиначч) і внутрішнім циліндром діаметром 70 мм, в якому по центру розташований другий детектор (D_2).

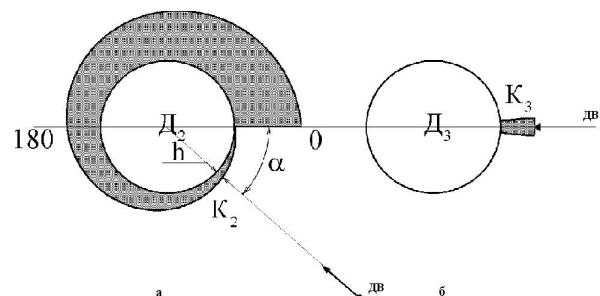


Рис. 3. Перетин екранів-поглиначчів: а – детектор (D_2), поміщений в екран зі змінним коефіцієнтом ослаблення; б – детектор (D_3), екранований секторним поглиначчем

Коефіцієнт ослаблення змінюється від мінімального значення до максимального в діапазоні кутів від 0 до 2π радіан. З відношення значень інтенсивності проникаючого випромінювання, які вимірюються першим і другим детекторами, визначається коефіцієнт пропорційності між коефіцієнтами ослаблення екранів із залежним і незалежним від кута коефіцієнтом ослаблення

$$K_{II} = \frac{j_2}{j_1} = \frac{K_1}{K_2}.$$

Знаючи коефіцієнт пропорційності K_{II} і коефіцієнт ослаблення першого екрана K_1 , знаходимо коефіцієнт ослаблення другого екрана K_2 , який залежить від напрямку на джерело проникаючого випромінювання, тобто кут між обраним напрямком і напрямком на джерело проникаючого випромінювання $\alpha = f(K_2)$.

Для ілюстрації на рисунку 3а коефіцієнт ослаблення K_2 заданий товщиною поглинача, що залежить від кута: $h = c + b \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}$, де c – задана константа (в даному випадку $c=7$ мм); b – задана константа (в даному випадку $b=50$ мм); α – кут у діапазоні від 0 до 360° .

Вимірювання проводились в діапазоні кутів від 0 до 360° з кроком 15° , а також в точках – 1° , 2° , 3.75° , 7.5° , 11.25° , 348.75° , 352.5° , 356.25° , 358° , 359° . Було зафіксовано, що в асиметричному поглиначі на переході $359^\circ \div 1^\circ$ коефіцієнт пропорційності змінювався від максимального до мінімального в межах кута величиною 2° , вірогідно за рахунок розсіювання гамма-випромінювання на межі між мінімальною та максимальною товщиною екрана. Графік залежності коефіцієнта пропорційності від кута надано на рисунку 4 при заповненні форми-поглинача сталевими кульками.

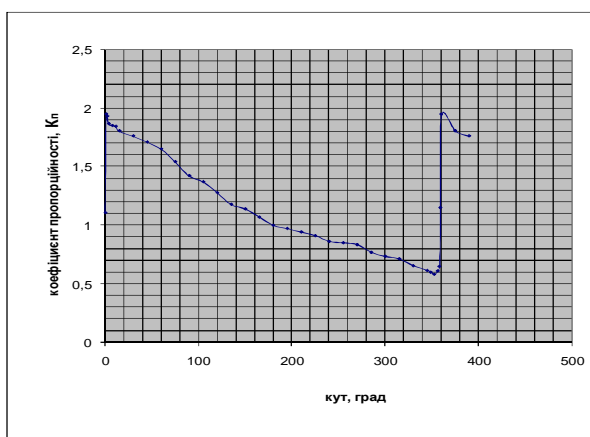


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта пропорційності (K_{II}) від кута

Для виключення неоднозначності результатів вимірів на переході $359^\circ \div 1^\circ$, де значення K_{II} змінюється від мінімального до максимального таким же чином, як в діапазоні кутів $1^\circ \div 359^\circ$, використовували третій детектор (D_3), розташований в геометричному центрі

кола діаметром 70 мм з поглиначем товщиною 25 мм, який являє собою сектор-поглинач висотою 40 мм, що перекриває вказаний діапазон кутів асиметричного поглинача в секторі 6° , і форму, наповнену сталевими кульками (рисунки 3б). Розташування джерела гамма-випромінювання в діапазоні кутів близько $359^\circ \div 1^\circ$ буде визначатися однозначно відношенням сигналів

$$\frac{j_1}{j_3} = \frac{K_3}{K_1} = 1$$

з детекторів D_1 і D_3 , де K_1 , K_3 – відомі величини.

Вимірювання проводилися зі статистичною похибкою не більш ніж 1%, тобто за один вимір детекторами фіксувалося не менше 10000 фотонів. Тобто статистична похибка вимірювання кута становить 1% для діапазону кутів $1^\circ \div 359^\circ$ радіан. При визначенні кута з цією похибкою можливо значне зменшення похибки, якщо повернути поглинач від кута 0° до раніше визначеного кута. Завдяки різкій зміні коефіцієнта пропорційності від мінімального значення до максимального, яка спостерігається в області кутів $359^\circ \div 1^\circ$ (рисунки 4), похибка зменшується приблизно в 180 разів.

При заповненні поглиначів свинцем та вуглекислим барієм коефіцієнт поглинання змінювався приблизно у вісім разів для свинцю (рисунки 5) та в півтора раза для вуглекислого барію (рисунки 6). Вибір поглинача дає змогу варіювати кутову точність виміру та чутливість приладу при вимірюванні малоінтенсивних джерел γ -випромінювання.

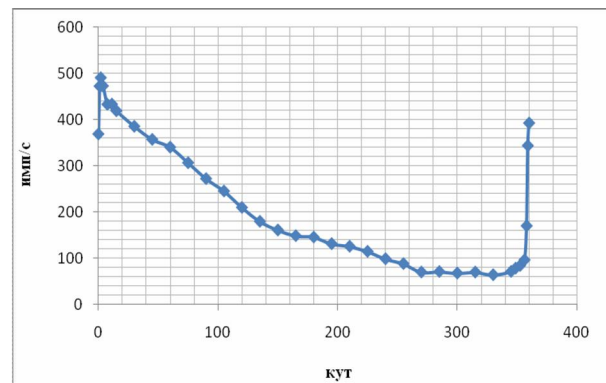


Рис. 5. Залежність кількості зареєстрованих гамма-квантів в асиметричному поглиначу від кута для свинцю

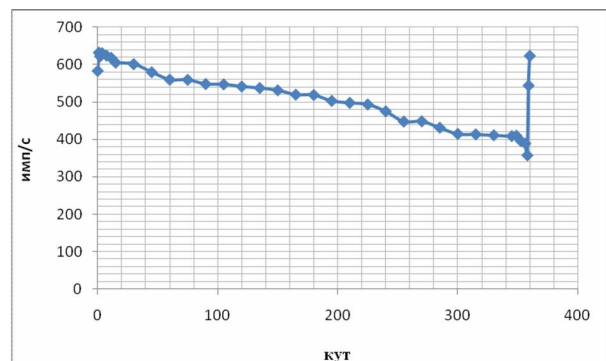


Рис. 6. Залежність кількості зареєстрованих гамма-квантів в асиметричному поглиначу від кута для вуглекислого барію

Висновки

Таким чином, у роботі пропонується прецизійний метод визначення напрямку на точкове гамма-джерело, за яким спочатку трьома детекторами з поглиначами визначається кут на джерело γ -випромінювання. Потім проводиться прецизійне визначення кута, для якого поглинач зі змінним коефіцієнтом ослаблення повертається межею між мінімальною та максимальною товщиною екрана-поглинача на джерело γ -випромінювання.

Розроблений метод забезпечує визначення напрямку на джерело фотонного випромінювання в площині в діапазоні кутів 2π радіан зі статистичною похибкою 1%. При розташуванні джерела γ -випромінювання в діапазоні кутів $359^\circ \pm 1^\circ$ похибка вимірювання зменшується приблизно в 180 разів.

У ході роботи визначено напрямок подальшого дослідження для з'ясування можливості використати запропонований метод та прилад для визначення напрямку на джерело фотонного випромінювання в просторі в діапазоні кутів 4π стерadian.

Список літератури

1. Лэй Вин. Многомодульные детектирующие устройства для ускоренного поиска непротяженных источников гамма-излучения и их локализации / Автореферат диссертации кандидата физико-математических наук. – Москва, 2010.
2. Исаков С.В. Методика и аппаратура ускоренного поиска локальных источников гамма-излучения / Автореферат диссертации кандидата физико-математических наук. – Москва, 2002. – 154 с.
3. Смирнов С.В. Разработка экспериментальных приборных средств и методик их применения для поиска и характеристики источников ионизирующего излучения в сложной радиационной обстановке / Автореферат диссертации кандидата физико-математических наук. – Москва, 2010. – 104 с.

4. Найнг Вин. Панорамный датчик с кодирующим коллиматором для обнаружения радиоактивных источников / Автореферат кандидата физико-математических наук. – Москва, 2007.

5. А.А. Ключников, В.Н. Щербин, В.М. Рудько, В.Г. Батий, Д.В. Федорченко, А.А. Правдивый, В.В. Егоров, А.И. Стоянов. Измерения интенсивности гамма-излучений в полях сложной конфигурации / По материалам конференции «Безопасность ядерных технологий: экономика безопасности и обращение с ИИИ». – ИПБ АЭС НАН Украины, Чернобыль, 2005.

6. Способ поиска и обнаружения источников гамма-излучения в условиях неравномерного радиоактивного загрязнения: Пат. 2195005 РФ, С2 G 01 T 1/169. / С.Н.Соловых, Н.И.Алимов, А.Н.Перевозчиков, Ю.А.Глухов, Э.Ф.Андреевский. – № 200012668/28; Заявл. 23.10.2000; Оpubл. 20.12.2002.

7. Устройство для поиска фотонных источников с угловым разрешением: Пат. 2187827 РФ, С2 G 01 T 1/29, 1/16. / А.Н. Власенко, В.П. Демченко, М.С. Ольков, Т.Д. Соколова, Е.А. Шелепов. – № 2000107463/28; Заявл. 27.03.2003; Оpubл. 20.08.2002.

8. Способ обнаружения источников ионизирующего излучения (варианты): Пат. 2230339 РФ, С2 G 01 T 1/167. / Е.Т. Протасевич, А.Е. Протасевич, С.А. Рыжкин. – № 2002106274/09; Заявл. 11.03.2002; Оpubл. 10.09.2003.

9. A Lebrun, G Bignan, J.L. Szabo, J. Arenas-Carrasco, R. Arlt, A. Dubreuil, K. Esmailpur Kazerouni. Gamma spectrometric characterization of short cooling time nuclear spent fuels using hemispheric CdZnTe detectors, Nucl. Instr. and Meth. A448 (2000) 598-603.

10. Экспериментальная ядерная физика / Под ред. Э.Сегре, пер. с англ. Т.3. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. – 684 с.

11. Григорьев А.Н., Полянский И.Е., Кареев А.Г., Жадан Т.А. Полупроводниковые детекторы на базе CdTe и CdZnTe для спектрометрии электромагнитных излучений при комнатной температуре / Вестник ХГУ. – Харьков, 2002. – № 544. – С. 153 – 155.

Рецензент: д. фіз.-мат. н., с.н.с. О.І. Гордієнко, Інститут проблем кріобіології і кріомедицини Національної Академії наук України, м. Харків.

ПРЕЦИЗИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ НА ТОЧЕЧНЫЙ ГАММА-ИСТОЧНИК

О.Н. Григорьев, З.В. Билык, О.В. Сакун, В.В. Марущенко

Предложен метод для прецизионного определения направления в плоскости в диапазоне углов 2π радиан на постоянный точечный источник фотонного излучения. Метод реализован на основе прибора, в который входят три блока детектирования гамма-излучения на базе теллурид-кадмиевых детекторов с поглотителями, четырех спектрометрических многоканальных анализаторов импульсов и компьютера для обработки информации. Применяются поглотители трех видов: асимметричный, секторный и в виде коаксиального цилиндра.

Ключевые слова: направление на источник излучения, источник фотонного излучения, гамма-излучение, поглотитель, прецизионный.

PRECISION METHOD OF DIRECTION-FINDING ON THE POINT GAMMA-SOURCE

O. Hrigoriev, Z. Bilyk, O. Sakun, V. Maruschenko

A method for a precision direction-finding in-plane on the continuous point source of photonic radiation the range of angles 2π radian is offered. The method is realized on the basis of device in which three blocks of detection gamma rays on a base of tellurium cadmium detectors with absorbers, four spectrometric multichannel pulse analyzer and computer for information processing are included. Three types of absorbers are applied: asymmetric, sectoral and coaxial cylinder.

Keywords: direction on to the source of radiation, source of photonic radiation, gamma rays, absorber, precision.