

# Гама-сканер кругового огляду з кодуючою маскою.

Євгеній Ярошук

Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут "Іскра",  
м. Луганськ, вул. Звейнека, 145,с Україна, 91033, official@iskra.lugansk.ua

**Abstract – The gamma-scanner of circular survey on the base of coding mask is considered. The angular resolution of the gamma-ray imaging systems with such constructive feature is determined, algorithms of the source distribution reconstruction and reconstruction of spectrum from direction are considered too.**

Ключові слова – coded aperture, radionuclide, gamma-radiation, remote localization.

Для вирішення завдань дистанційного виявлення, ідентифікації, локалізації і якісної оцінки джерел радіоактивного зараження, як правило застосовують скануючі системи і системи з кодованими апертурами (СКА).

Скануючі системи отримання розподілу джерел випромінювання відносять до систем тимчасової модуляції потоку. Вони являють собою єдиний детектор, вкладений в коліматор, і відрізняються простотою виконання систем детектування і спектрометричного тракту. При простоті таких систем їх чутливість обмежена розмірами апертури коліматора і для отримання детальної карти розподілу джерел необхідний достатньо великий час вимірювання, особливо при необхідності отримання великої кількості елементів розподілу.

Системи просторової модуляції, до яких відносять, зокрема, системи з кодованими апертурами, забезпечують хорошу чутливість за рахунок мультиплексної логіки вимірювань[1]. Особливою складовою таких систем є наявність позиційно-чутливого детектора дискретного або безперервного типу. Реалізація позиційно-чутливого детектора завжди представляє великі технічні труднощі, пов'язані з об'єднанням великої кількості детекторів (фотоприймачів) разом. Ці труднощі особливо збільшуються при необхідності отримання великої кількості елементів розподілу.

У даній доповіді розглядається апаратно-програмний комплекс - гама-сканер кругового огляду, заснований на використанні принципів просторово-часового кодування, який поєднує в собі простоту систем детектування, властиву системам тимчасової модуляції, і високу чутливість, властиву системам просторової модуляції[2].

Детектуюча система гама-сканера кругового огляду є єдиничним безперервним циліндровим детектором, наприклад CsI(Tl), який оптично сполучений з фотоелектронним помножувачем і циліндровою кодуючою маскою, що складається з послідовності прозорих і непрозорих для гама-випромінювання елементів і призначена для отримання інформації про круговий розподіл потоку  $\gamma$ -випромінювання. Принцип просторово-часового кодування потоку гама-випромінювання полягає в тому, що єдиний детектор сканера кругового огляду в кожен окремих проміжок

часу реєструє гама-кванти, які приходять зі всіх напрямків, але для отримання інформації про кутовий напрям використовується принцип просторового кодування за допомогою кодуючої маски циліндрової форми. Під час вимірювання маска здійснює обертання навколо осі співпадаючої з віссю детектора.

Загальна схема приладу показана на рис. 1. У своєму складі прилад містить циліндровий детектор гама-випромінювання 1, циліндрову кодуючу маску, що обертається 2, двигун обертання маски 3, датчик кутового положення кодуючої маски 4, засоби стабілізації спектрометричного тракту 5 і процесор обробки даних 6.

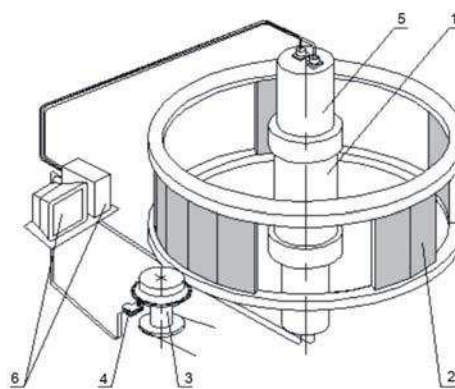


Рис. 1. Схема гама-сканера

Прилад може працювати в декількох режимах. Маска може здійснювати дискретні повороти з кроком, рівним кутовому розміру елемента маски, і безперервне обертання. Переміщення маски забезпечуються двигуном обертання, а її кутове положення при повороті та обертанні визначаються за допомогою датчика положень.

У одному з режимів отримання кругової діаграми щільності потоку гама-квантів здійснювалось методом вимірювань у дискретних положеннях маски. Такий метод включає кроки: а) установлення маски згідно з датчиком кутового положення в нульове положення; б) збір даних в перебігу часу  $t = T/n$ , де  $T$  – повний час вимірювань,  $n$  – кількість елементів в кодуючій масці; у) поворот маски на кут, рівний кутовому розміру елемента маски; г) збір даних протягом часу  $t$ ; д) повторення кроків в) і г) до здійснення маскою повного оберту; е) побудова кругової діаграми методами математичної обробки даних, залежних від конфігурації кодуючої маски.

У іншому режимі з метою безперервного оновлення кругової діаграми кодуюча маска здійснювала безперервне обертання. Запис подій реєстрації гама-квантів проводиться в дискретних кутових положеннях, кількість яких дорівнює  $n \times k$  (де  $k=1,3,5,7$ ) і визначається датчиком кутових положень.

В результаті вимірювань протягом часу  $T$  отримуємо  $n$  або  $n \times k$  масивів спектрів гама-випромінювання. Кожен із спектрів є спектром гама-випромінювання, зареєстрованого детектором зі всіх напрямів в  $i$ -му кутовому положенні маски. Вибравши необхідне спектральне вікно (діапазон енергій), здійснюється підсумовування подій, зареєстрованих в кожному зі спектрів в даному спектральному вікні. Окремим випадком спектрального вікна може бути весь енергетичний діапазон реєстрації. Таким чином, ми отримуємо масив даних  $P$  для побудови кругової діаграми щільності потоку. Довжина масиву  $P$  дорівнює кількості кутових положень маски, в яких здійснювався запис подій реєстрації гама-квантів, і кратна  $n$ .

Для відновлення просторових розподілів джерел гама-випромінювання на підставі отриманих масивів спектральних даних  $P$ , як і для всіх систем СКА, найчастіше використовується метод кореляції або його модифікації [3]. Переваги цього методу відновлення перед іншими (максимальної правдоподібності, мінімуму ентропії і тому подібне) полягають в простоті математичних дій і, як наслідок, у високій швидкодії, що особливо важливе при отриманні багатоелементних зображень поля зору в режимі реального часу.

Процес отримання зображення методом кореляції для випадку одновимірної апертури математично можна представити у вигляді:

$$O_j^* = \sum_{i=0}^{k \cdot m - 1} P_i \cdot G_{(i+j) \bmod k \cdot m} \quad (1)$$

Тут  $O_j^*$  – елемент матриці відновленого просторового розподілу джерел гама-випромінювання;  $P_i$  – елемент матриці рахунків подій, зареєстрованих ПЧД;  $G_{(i+j)}$  – елемент матриці обробки. Матриця  $G$  визначається відповідним чином, виходячи з вибраної кодуєчої послідовності і розміру маски;  $m$  – розмірність кодуєчої маски;  $k$  – заданий коефіцієнт дискретності кутових положень.

Властивості кодуєчої апертури дають можливість отримати спектр окремо кожного пікселя або довільного набору пікселів зображення просторового розподілу джерел. Відновлення має сенс проводити при необхідності радіометричної оцінки зафіксованих джерел радіоактивного випромінювання, тобто ідентифікації гама-випромінюючих нуклідів, визначення їх активності, складання двовимірних карт активності, розрахунку і складання карт дозних полів. Метод для виділення спектру окремого пікселя або їх набору, полягає в обробці накопичених даних методом кореляції при постійному значенні індексів пікселя зображення для всіх енергетичних каналів спектру. Відновлення спектру здійснюється за формулою:

$$S_j^{(z)} = \sum_{i=0}^{k \cdot m - 1} P_i^{(z)} \cdot G_{(i+j) \bmod k \cdot m} \quad (2)$$

де  $i, j$  – індекси вибраного пікселя;  $S^{(z)}$  – кількість зареєстрованих подій у  $z$ -ому спектральному каналі від пікселя з індексом  $j$ ;  $z$  – індекс спектрального каналу, що пробігає значення по всьому спектральному вікну реєстрації;  $m$  – розмірність кодуєчої

маски;  $k$  – заданий коефіцієнт дискретності кутових положень;  $G_{(i+j)}$  – елемент матриці обробки;  $P^{(z)}$  – матриця, що описує тінюграму в  $z$ -ому спектральному каналі.

Кутовий дозвіл систем з кодуєчими масками визначається їх геометричними параметрами і довжиною  $n$  кодуєчої послідовності, вживаної для побудови маски [4]. У даній конкретній реалізації кутовий дозвіл системи дорівнює кутовому розміру елементу маски  $\Delta\alpha = 360^\circ / n$ .

Для дослідження кутового дозволу в кожному з режимів було проведено дві серії експериментів з кодуєчою маскою приладу в 31 елемент і коефіцієнтом дискретизації  $k=7$  відповідно  $\Delta\alpha = 360^\circ / n = 11.61^\circ$ . У першій з них досліджувалася можливість розділення двох поряд розташованих точкових джерел  $^{133}\text{Ba}$  активністю 1 Мбк. Джерела послідовно розташовувалися на відстані 2, 1.75, 1.5 і 1.25 кутових дискрет один від одного (рис.2,3,4,5).

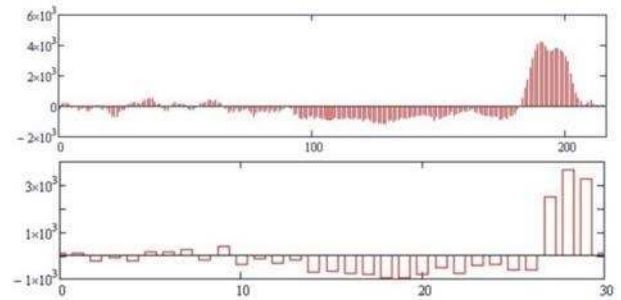


Рис. 2. Кут між джерелами 1.25 $\alpha$ 1

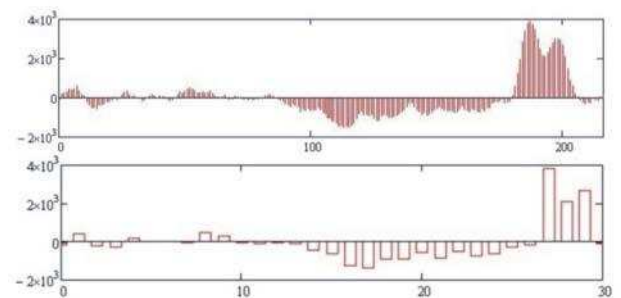


Рис. 3. Кут між джерелами 1.5 $\alpha$ 1

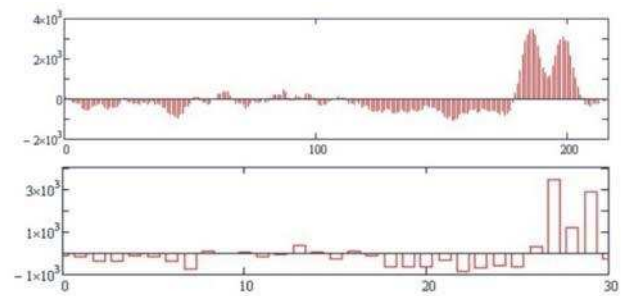


Рис. 4. Кут між джерелами 1.75 $\alpha$ 1

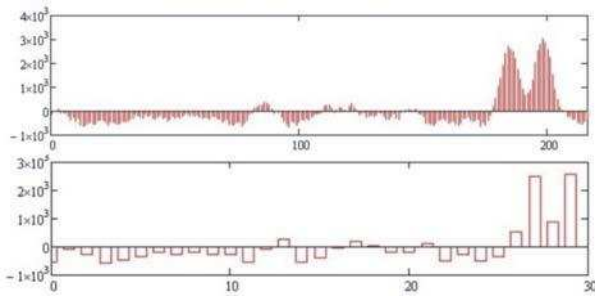


Рис. 5. Кут між джерелами  $2.2\alpha_1$

У другій серії досліджень для визначення можливості уточнення кутової координати джерела були проведені експерименти, в яких точкове джерело  $\text{Ba133}$  активністю 1 Мбк зрушувалося щодо свого попереднього положення і гама-сканера на кут  $\alpha_2 = 1.66^\circ$ , рівний  $1/7$  кутовій дискреті та в межах однієї кутової дискреті  $\alpha_1 = 11.61^\circ$ . На рис.6 виразно бачимо зрушення піків щільності потоку гама-випромінювання відповідно зрушенню джерела щодо приладу.

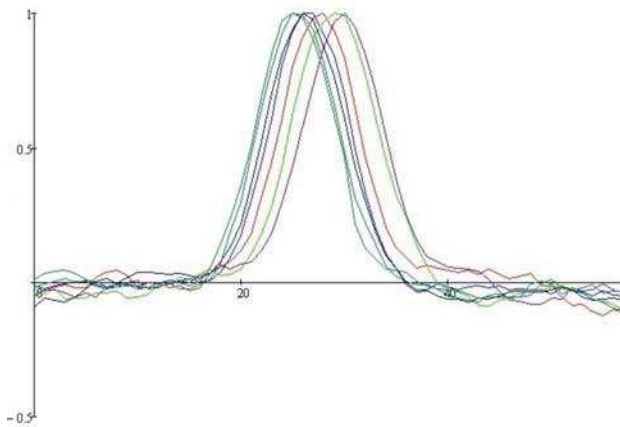


Рис. 6. Зрушення піків щільності потоків гама-випромінювання

Проведені експерименти показали, що система з безперервним обертанням маски і додатковою дискретизацією поля зору має переваги порівняно з дискретним обертанням. Хоча цей метод не покращує кутового дозволу приладу, він дає можливість отримувати більш гладку функцію кутового розподілу щільності потоку гама-квантів в кутовому діапазоні від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  і уточнювати кутову координату точкового джерела в межах  $\pm\alpha_2/2$ . Оптимальний

ступінь дискретизації залежить від очікуваної статистичної забезпеченості спектрів гама-випромінювання і параметрів обчислювального ядра апаратури.

## Висновок

Розглянутий вище гама-сканер на базі кодованих апертур, що реалізовує мультиплексну логіку вимірювань і що поєднує в собі простоту апаратної реалізації, властиву скануючим системам і чутливість, властиву системам візуалізації побудованих за принципом просторового кодування, дозволяє спростити і здешевіти проведення заходів, пов'язаних з моніторингом і утилізацією осередків радіоактивного забруднення. Дана конструктивна особливість реалізації систем візуалізації СКА дозволяє визначати напрям на джерело гама-випромінювання в діапазоні азимутних кутів від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , реєструвати і обробляти спектри гама-випромінювання в діапазоні енергій від 0.1 до 3.0 MeV з метою ідентифікації радіонуклідів. За даними декількох вимірювань можлива локалізація джерел і визначення їх радіометричних характеристик і складання двовимірних карт розподілу джерел і карт дозних полів. Гама-сканер може бути використаний в порівняно недорогих, але ефективних мобільних автоматизованих комплексах, що дозволяють виявляти і ідентифікувати джерела радіоактивного випромінювання, як на відкритій місцевості так і в міських умовах.

## References

- [1] G. K. Skinner. Coded mask imagers when to use them – and when not New Astronomy Reviews Volume 48, Issues 1-4, February 2004, Pages 205-208
- [2] Плахотник В.Ю., Кочергин А.В. "ГОНИОМЕТР" - гама-сканер кругового обзора с кодирующей маской Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції "Приладобудування: стан і перспективи", 22-23 квітня 2008 р., м. Київ. ПБФ, НТУУ "КПІ" – 2008. – 264 с., с.166 – 167.
- [3] Dunphy P.P., McConnell M.L., Owens A., Chupp E.L., Forrest D.J., Googins J. A. Balloon-borne Coded Aperture Telescope for Low-Energy Gamma-Ray Astronomy. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 1989, v.A274, pp. 362-379.
- [4] Fenimore E.E., Cannon T.M. Coded Aperture Imaging with Uniformly Redundant Array./ Applied Optics, 1978, v.17, No.3, February, pp.337-347.