

УДК 53.088 : 519.254

А.В.Кочергин, В.Ю. Плахотник¹¹ОП НИИ «Искра»

E-mail: kav_lg@mail.ru, wpl2005@ukr.net

**ДИСТАНЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАДИОМЕТРИЯ
ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ**

В статье разработан алгоритм восстановления спектров пикселей изображения распределения источников γ -излучения, полученных с помощью системы визуализации γ -излучения с кодированной апертурой. Показана возможность разделения спектров индивидуальных источников и идентификации радионуклидов по их спектральным характеристикам, оценки радиометрических характеристик источников. Приведенный алгоритм может быть применен для восстановления спектров как точечных, так и протяженных источников. Проведен анализ статистических характеристик восстановленных спектров, изучены особенности формы аппаратной функции.

Ключевые слова: кодированная апертура, спектр гамма-излучения, статистика счетов, идентификация, радиометрия, оценка активности.

Общая постановка проблемы. Дистанционный поиск и локализация радионуклидов при обследовании ядерно-технических объектов и радиационном мониторинге местности является проблемой возрастающей важности. Для ее решения необходимы системы, позволяющих детектировать и визуализировать поля γ -излучения.

Визуализация γ -излучения с помощью кодированных апертур является реализацией метода непреломляющей оптики и выполняется как двухступенчатая процедура. На первой стадии пространственного кодирования положение источника в поле зрения кодируется с помощью расположенных перед позиционно-чувствительным детектором прозрачных и поглощающих γ -излучение элементов, на второй стадии зарегистрированная позиционно-чувствительным детектором картина (так называемая "тенеграмма") подвергается декодированию для получения распределения источников γ -излучения в поле зрения [1, 2].

Приборы для визуализации γ -излучения, созданные на основе этой концепции пространственного кодирования направления прихода гамма-лучей, называют "системами с кодированными апертурами" [3, 4]. Характерными особенностями конструкции этих систем является наличие кодирующей маски, состоящей из прозрачных и поглощающих γ -излучение элементов, расположение которых в апертуре подчиняется строго определенным математическим закономерностям, и наличие позиционно-чувствительного детектора, пространственное разрешение которого должно быть согласовано с размером элемента кодирующей маски.

Системы визуализации с кодированными апертурами (СКА) первоначально разрабатывались для получения изображений точечных источников на бесконечности, но могут быть также оптимизированы для источников в ближнем поле. Применение СКА в условиях контроля радиационной обстановки на ядерно-технических объектах и в качестве средств визуализации распределений радиофармпрепаратов в ядерной медицине предполагает работу систем в условиях расходящихся лучей.

Фотоны источника γ -излучения в поле зрения (ПЗ) проектируют тень маски на детектор. В течение единственного наблюдения детектор собирает "тенеграммы" от каждого источника в ПЗ, при этом информация о позиции источника кодируется сдвигом тенеграммы, а интенсивность источника – мощностью тенеграммы. Конфигурация кодирующей

маски разрабатывается так, что тень маски, проектируемая источником в любой позиции в поле зрения уникальна и, следовательно, записанная тенеграмма может быть использована для восстановления положения источника. Основы теории визуализации гамма-излучения с помощью кодированных апертур и некоторые способы конструирования кодирующих масок достаточно подробно изложены в [1, 5 – 7]. Счетная информация, зарегистрированная позиционно-чувствительной плоскостью в течение времени наблюдения, представляет собой суперпозицию тенеграмм от всех источников в поле зрения.

Постановка задач исследования. Цель работы – разработка методики дистанционной локализации и идентификации источников γ -излучения по их спектральным характеристикам и анализ статистических особенностей спектров γ -излучения, восстановленных системой визуализации γ -излучения с кодированной апертурой, с целью оценки радиометрических характеристик источников.

Результаты разработки и исследований. В течение времени наблюдения ПЧД системы визуализации регистрирует события взаимодействия гамма-квантов с материалом детектора. При этом регистрируются как гамма-кванты, приходящие из области интереса, так и гамма-кванты фонового излучения. В результате наблюдения каждый из элементов ПЧД (реальный для дискретного типа ПЧД или виртуальный в случае непрерывного детектора) регистрирует аппаратный энергетический спектр гамма-излучения. Суммарный спектр ПЧД представляет собой спектрометрическую информацию о спектральном составе гамма-излучения в точке наблюдения и является результатом суперпозиции спектров источников в области интереса (поле зрения) и фонового излучения. При этом следует иметь в виду, что источники гамма-излучения вне поля зрения системы визуализации также рассматриваются как фоновые, обеспечивая увеличение скорости счета детектора.

Интегральная информация, зарегистрированная ПЧД в течение времени наблюдения, представляет собой количество счетов событий в элементе ПЧД, обусловленных как потоком гамма-квантов из поля зрения системы, так и гамма-квантами фонового и стороннего (вне поля зрения) излучений. Таким образом, интегральная информация представляется в виде матрицы счетов P . Отметим, что каждый элемент ПЧД регистрирует аппаратный спектр излучения, поэтому матрица счетов может быть представлена, как интегральная информация для произвольно выбранного спектрального окна $W = \{ch_s, \dots, ch_e\}$, где ch_s и ch_e – начальный и конечный спектрометрические каналы выбранного спектрального окна. Тогда матрица счетов для спектрального окна W имеет вид:

$$P_{i,j}^W = \sum_{k=ch_s}^{ch_e} C_{i,j}^k, \quad (1)$$

где $C_{i,j}^k$ – количество счетов событий, зарегистрированных (i,j) -м элементом ПЧД в k -м спектрометрическом канале.

Для восстановления распределения источников гамма-излучения в поле зрения чаще всего используется метод корреляции, как самый быстрый из всех возможных. Тогда восстановленное распределение источников в поле зрения системы визуализации, спектр излучения которых попадает в спектральное окно W , получают в соответствии с формулой:

$$S_{m,n}^W = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} P_{i,j}^W G_{i+m,j+n}, \quad (2)$$

где M, N – размерности кодирующей маски, $m = 0, \dots, M-1$; $n = 0, \dots, N-1$, G – матрица обработки, определяемая типом кодирующей последовательности. Таким образом, полученное в

результате восстановления изображение будет представлять собой распределение источников, γ -излучение которых попадает в спектральное окно W .

Следуя логике восстановления излучения в спектральном окне, можем уменьшить ширину спектрального окна до ширины единственного спектрометрического канала. Тогда $P_{i,j}^W \equiv C_{i,j}^k$, где k – номер выбранного спектрометрического канала, а изображение, восстановленное в соответствии с (2), будет представлять собой распределение источников γ -излучения с энергией, соответствующей выбранному спектрометрическому каналу. Такое восстановление изображения в единственном спектрометрическом канале можно провести последовательно для всех спектрометрических каналов рабочего диапазона энергий γ -излучения регистрируемого спектра.

Зафиксируем в формуле (2) индексы пикселя восстанавливаемого изображения m и n и проведем последовательное восстановление значения пикселя для спектрометрических каналов $k = ch_{min}, \dots, ch_{max}$, где ch_{min} и ch_{max} – начальный и конечный спектрометрические каналы регистрируемого аппаратного спектра. В результате такой последовательности процедур восстановления значений пикселя получим массив $S_{m,n}^k$, представляющий собой восстановленный аппаратный спектр пикселя в рабочем диапазоне энергий γ -излучения.

Алгоритм восстановления спектра пикселя карты распределения источников γ -излучения, полученной с помощью системы визуализации γ -излучения с кодированной апертурой представляет собой следующую последовательность действий:

1. Выбрать m и n – индексы пикселя восстановленного распределения источников, спектр которого необходимо восстановить.
2. Установить значение номера спектрометрического канала $k = ch_{min}$.
3. Составить матрицу счетов P^k , из значений счетов γ -квантов в k -ом спектрометрическом канале аппаратных спектров элементов ПЧД.
4. Восстановить значение пикселя (m,n) в k -ом спектрометрическом канале в соответствии с (2) при фиксированных значениях индексов.
5. Записать полученное значение S^k в массив спектра.
6. $k = k+1$
7. Если $k \leq ch_{max}$, то перейти к п.3, иначе – закончить вычисления.

В полученная в результате матрица S будет представлять собой восстановленный спектр γ -излучения из выбранного пикселя.

При наличии протяженных источников в поле зрения системы визуализации возникает необходимость восстановить спектр группы пикселей, представляющих источник. В этом случае необходимо восстановить спектр каждого пикселя отдельно и получить суммарный спектр.

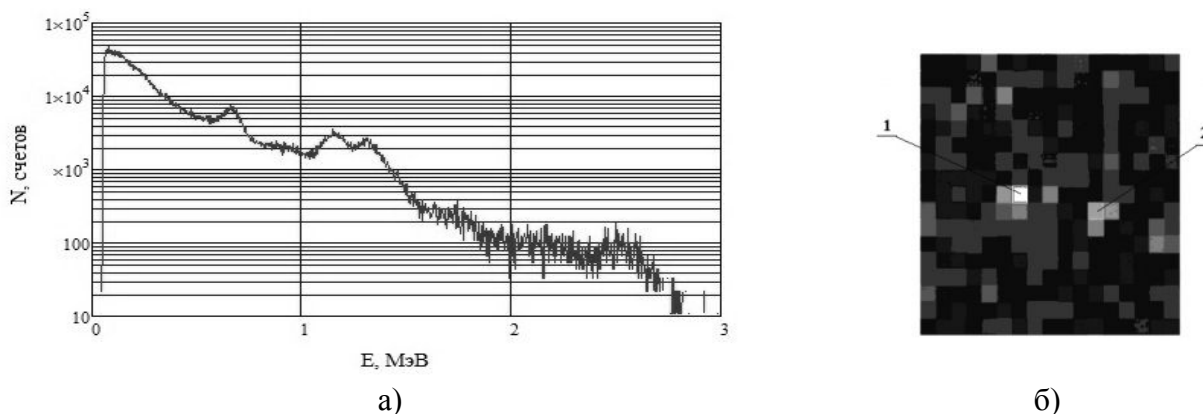


Рисунок 1 – Результаты эксперимента по восстановлению распределения источников γ -излучения в поле зрения системы визуализации:
а) суммарный аппаратный спектр; б) распределение источников γ -излучения

При экспериментах с системой визуализации γ -излучения с кодированной апертурой на базе двумерной кодирующей маски MURA [7] размерностью 17×17 элементов был зарегистрирован суммарный спектр γ -излучения, показанный на рисунке 1, а. Диапазон энергий регистрируемого γ -излучения от 0,05 до 3,0 МэВ. В спектре вместе с излучением естественного фона обнаруживаются пики полного поглощения излучения нуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co .

На рисунке 1, б изображено восстановленное по результатам измерения распределение источников излучения. Это распределение получено для спектрального окна, занимающего весь рабочий диапазон регистрируемого излучения. В поле зрения системы очевидно наличие двух источников излучения, близких по интенсивности.

Для идентификации источников излучения в поле зрения системы визуализации было проведено восстановление спектров излучения из пикселей в соответствии с приведенным выше алгоритмом. На рисунке 2 показаны восстановленные спектры γ -излучения из пикселей. На рисунке 2, а можно наблюдать пик полного поглощения γ -излучения ^{137}Cs (0,662 МэВ), а на рисунке 2, б отчетливо выделяются пики полного поглощения γ -излучения ^{60}Co (1,17 и 1,33 МэВ).

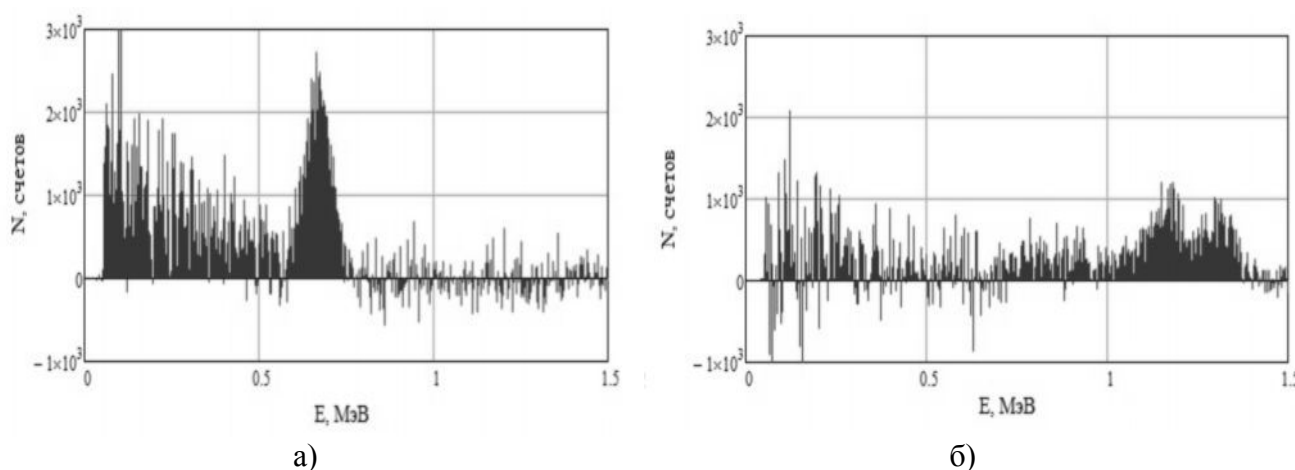


Рисунок 2 – Восстановленные спектры излучения из выбранных пикселей:
а) спектр пикселя 1; б) спектр пикселя 2

Отметим некоторые особенности восстановленных спектров. В восстановленных спектрах полностью отсутствуют пики полного поглощения γ -излучения тех нуклидов, которые не локализованы в выбранных пикселях поля зрения, и непрерывное распределение естественного фона, что объясняется применением для восстановления спектров метода сбалансированной корреляции, который обеспечивает уменьшение счета некодированных событий к нулевому среднему значению. Другая особенность восстановленного спектра состоит в наличии значительно отличающихся счетов в соседних спектротрических каналах. Очевидно, что статистика отсчетов в каналах отличается от распределения Пуассона.

Полагая, что статистика счетов событий регистрации гамма-квантов подчиняется распределению Пуассона [8, 9], получим выражение для выборочной оценки дисперсии счета в спектротрическом канале. Выборочная оценка дисперсии элемента изображения, получаемого в соответствии с (2)

$$\sigma_{m,n}^2 = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \sigma_{i,j}^2, \quad (3)$$

где $\sigma_{i,j}^2$ – оценка дисперсии индивидуального слагаемого. Поскольку каждое слагаемое представляет собой произведение двух сомножителей, то

$$\sigma_{i,j}^2 = \left[\left(\frac{\sigma_{P_{i,j}^W}}{P_{i,j}^W} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{G_{i,j}}}{G_{i,j}} \right)^2 \right] (P_{i,j}^W G_{i,j})^2. \quad (4)$$

Элементы матрицы обработки G представляют собой детерминированные значения, поэтому $\sigma_{G_{i,j}} = 0$ и выражение (4) можно упростить:

$$\sigma_{i,j}^2 = \sigma_{P_{i,j}^W}^2 G_{i,j}^2. \quad (5)$$

Для Пуассоновского закона распределения оценка дисперсии счета элемента равна количеству счетов в элементе – $\sigma_{P_{i,j}^W}^2 = P_{i,j}^W$. Учтем, что элементы матрицы обработки $G = \pm 1$, тогда выражение для оценки дисперсии элемента будет иметь вид:

$$\sigma_{m,n}^2 = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} P_{i,j}^W. \quad (6)$$

В случае восстановления спектра выбранного элемента мы оцениваем дисперсию счета в спектрометрическом канале и элемент матрицы счета P представляет собой счет в выбранном спектрометрическом канале. Дисперсия счета в k -м спектрометрическом канале восстановленного спектра пикселя с индексами (m,n) :

$$\left(\sigma_{m,n}^k \right)^2 = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} C_{i,j}^k. \quad (7)$$

Таким образом, оценка дисперсии счета в k -ом спектрометрическом канале восстановленного спектра равна счету в k -ом спектрометрическом канале суммарного спектра, накопленным позиционно-чувствительным детектором в течение времени наблюдения. На рисунке 3 показан восстановленный спектр ^{133}Ba . На рисунке 3 также показан интервал неопределенности $\pm 3\sigma$, оцененный по данным суммарного спектра.

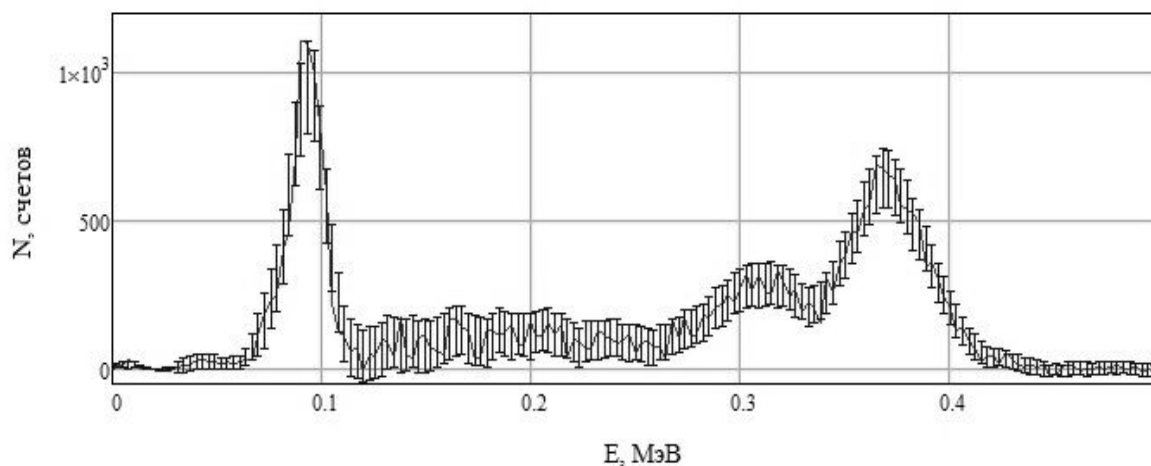


Рисунок 3 – Восстановленный спектр ^{133}Ba

В спектре наблюдаются пики полного поглощения, характерные для излучения ^{133}Ba . Интерференция пиков 0,356 и 0,383 МэВ связана с ограничениями энергетического разрешения позиционно-чувствительного детектора. Очевидно, что счет в каналах восстановленного спектра практически везде укладывается в оцененный интервал неопределенности.

В приведенных выше восстановленных спектрах источников пики полного поглощения могут быть локализованы известными методами. Определение энергии пика позволит идентифицировать излучающий радионуклид. При оценке радиометрических характеристик источника необходимо учитывать особенности детектирования γ -излучения системой визуализации с кодированной апертурой.

Для количественной оценки плотности потока γ -квантов из элемента изображения учитываются γ -кванты, зарегистрированные позиционно-чувствительным детектором в пике полного поглощения за время измерений [10]. При этом учитывается также и эффективность регистрации γ -квантов соответствующей энергии.

$$\varphi = \frac{S^*}{\varepsilon \cdot S_{PSD} \cdot \frac{T}{M \cdot N} \cdot (n_o + n_c \cdot \exp(-\mu \cdot a))}, \quad (8)$$

где S^* – площадь пика полного поглощения, ε – эффективность регистрации γ -излучения в пике полного поглощения, S_{PSD} – площадь ПЧД, $M \cdot N$ – общее число элементов кодирующей маски, n_o и n_c – количество открытых и закрытых элементов маски, соответственно, T – время измерений, множитель $\exp(-\mu \cdot a)$ определяет прозрачность закрытого элемента маски. Активность источника определяется с учетом квантовой эффективности (выхода γ -квантов на распад) и постоянной распада после идентификации радионуклида.

Обратим также внимание на отличие формы восстановленного аппаратного спектра в области комптоновского распределения от формы комптоновского распределения, получаемого с помощью традиционных спектрометрических детекторов. Показанная на рисунках 2, а и 2, б форма комптоновского распределения обусловлена, по-видимому, тем фактом, что в этот диапазон энергий попадает энергия γ -квантов источника, испытавших комптоновское рассеяние в поглощающих элементах маски и полное поглощение в позиционно-чувствительном детекторе. Поскольку такие γ -кванты изменяют направление движения, то их регистрация позиционно-чувствительным детектором приводит к формированию дополнительной компоненты некодированного фона. В процессе восстановления спектра пикселя такие события балансируются к среднему нулю путем вычитания, что и приводит к искажению формы комптоновского распределения. Как видно из рисунка 3, такой эффект искажения отсутствует при сравнительно низкой энергии γ -излучения источника, когда γ -кванты источника практически полностью поглощаются материалом элемента маски.

Общий вид спектров, восстановленных с помощью системы визуализации с кодированной апертурой, указывает также на некоторые требования к спектрометрической аппаратуре системы визуализации. Очевидно, что энергетическое разрешение спектрометрических трактов должно быть как можно выше, так как процедуры суммирования событий от многих трактов при регистрации и восстановлении спектров приводят к увеличению общей дисперсии измерений и ухудшают возможность разделения интерферирующих пиков. Кроме того, в связи со статистическими особенностями восстановленных спектров для надежной оценки активности идентифицированных источников необходимо иметь статистически обеспеченное количество регистраций в пике полного поглощения.

Выводы.

Предложенная методика полезна в тех задачах радиационного мониторинга, когда необходимо выполнить не только пространственную локализацию, но и идентификацию и радиометрическую оценку обнаруженных радионуклидов.

Разработанный алгоритм обработки данных, получаемых при визуализации γ -излучения с помощью кодированных апертур, позволяет отдельно восстановить спектры как точечных так и протяженных источников γ -излучения. При этом в восстановленном таким образом спектре не только устраняется влияние фонового излучения на спектр выбранной области интереса, но и отсутствует излучение от соседних областей поля зрения.

На основе восстановленного спектра можно более достоверно провести идентификацию излучающего радионуклида, разделить области локализации различных радионуклидов и провести оценку радиометрических характеристик источника – плотности потока γ -квантов и активности источника.

При проведении измерений для целей радиометрии с помощью системы визуализации γ -излучения с кодированной апертурой необходимо учитывать дополнительные требования, вытекающие из статистических особенностей восстановленных спектров. Для обеспечения надежности оценок радиометрических характеристик требуется получение статистически более надежных данных, чем при использовании традиционных радиометрических приборов. Однако возможность дистанционной спектрометрии и радиометрии источников γ -излучения в полевых условиях без отбора проб является неоспоримым преимуществом при использовании систем визуализации γ -излучения с кодированными апертурами.

Список использованной литературы:

1. Fenimore E.E. Coded aperture imaging with uniformly redundant arrays/ E.E. Fenimore, Cannon T.M. // *Applied Optics*, 1978. – vol. 17, no. 3. – pp. 337 – 347.
2. Cannon T.M. Tomographical Imaging Using Uniformly Redundant Arrays // T.M. Cannon, E.E. Fenimore // *Applied Optics*, 1979. – vol. 18. no. 7. – pp. 1052 – 1057.
3. Durrant P.T. The application of pinhole and coded aperture imaging in the nuclear environment / P.T. Durrant, M. Dallimore, I.D. Jupp, D. Ramsden // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1999. – vol. 422. – pp. 667 – 671.
4. Иванов О.П. Портативный прибор для получения изображений источников гамма-излучения с апертурой на основе кодирующих масок / О.П. Иванов, В.Е. Степанов, А.Н. Сударкин, Л.И. Уруцкоев // *Приборы и техника эксперимента*, 1998. – № 4. – С. 127 – 133.
5. Dunphy P.P. Balloon-Borne Coded Aperture Telescope for Low-Energy Gamma Ray Astronomy / P.P. Dunphy, M.L. McConnell, A. Owens, E.L. Chupp, D.J. Forrest, J.A. Googins // *Nuclear Instrument and Methods in Physics Research*, 1989. – vol. 274. – pp. 362 – 379.
6. Proctor R.J. The Design of Optimum Coded Mask X-Ray Telescopes. / R.J. Proctor, G.K. Skinner, A.P. Willmore // *Monthly Notes of Royal Astronomical Society*, 1979. – vol. 187. – pp. 663 – 643.
7. Gottesman S.R. New family of binary arrays for coded aperture imaging. / S.R. Gottesman, E.E. Fenimore // *Applied Optics*, 1989. – vol. 28, no. 20. – p. 4344 – 4352.
8. Идьё В. Статистические методы в экспериментальной ядерной физике / В. Идьё, Д. Драйард, Ф. Джеймс, М. Рус, Б. Садуле. М.: Атомиздат, 1976. – 335 с.
9. Кендалл М. Теория распределений / М. Кендалл, А.М. Стьюарт., М.: Наука, 1966. – 587 с.
10. Плахотник В.Ю. Количественная оценка изображений, получаемых эмиссионным томографом с кодированной апертурой. / В.Ю. Плахотник // *Статистичний та інтелектуальний аналіз даних у медико-гуманітарних дослідженнях (SIAD-2011): Матеріали II-ої Всеукраїнської науково-практичної INTRNET конференції – Луганськ, ДЗ "Луганський державний медичний університет"*, 2011. – С. 53 – 54.

References

1. Fenimore, E.E. and Cannon T.M. (1978), "Coded aperture imaging with uniformly redundant arrays", *Applied Optics*, vol. 17, no.3, pp. 337 – 347.
2. Cannon, T.M. and Fenimore E.E. (1979), "Tomographical Imaging Using Uniformly Redundant Arrays", *Applied Optics*, vol. 18, no. 7, pp. 1052 – 1057.
3. Durrant, P.T., Dallimore M. , Jupp I.D. and Ramsden D. (1999), "The application of pinhole and coded aperture imaging in the nuclear environment", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, vol. 422, pp. 667 – 671.
4. Ivanov, O.P., Stepanov V.E., Sudarkin A.N. and Urutskoev L.I. (1998), "The Portable Device for Gamma-Ray Sources Imaging with Aperture on the Base of Coding Masks", *Pribory i Tehnika Eksperimenta [Instruments and Experimental Techniques]*, no.4, pp.127-133.
5. Dunphy, P.P., McConnell M.L., Owens A., Chupp E.L., Forrest D.J. and Googins J.A. (1989), "Balloon-Borne Coded Aperture Telescope for Low-Energy Gamma Ray Astronomy", *Nuclear Instrument and Methods in Physics Research*, vol. 274, pp. 362 – 379.
6. Proctor, R.J., Skinner G.K. and Willmore A.P. (1979), "The Design of Optimum Coded Mask X-Ray Telescopes", *Monthly Notes of Royal Astronomical Society*, vol. 187, pp. 663 – 643.
7. Gottesman, S.R. and Fenimore E.E. (1989), "New family of binary arrays for coded aperture imaging". *Applied Optics*, vol. 28, no. 20, p. 4344 – 4352.
8. Eadie, W.T., Dryard D., James F.E., Roos M. and Sadoulet B. (1976), *Statistical Methods in Experimental Physics.*, translated by V.S. Kurbatov, Atomizdat, Moscow, Russia.
9. Kendall, M.G. and Stuart A. (1966), *Distribution Theory*, translated by V.V. Sazonov, A.N.Shiriaev, Nauka. Moscow, Russia.
10. Plakhotnik, V.Yu. (2011), "Quantitative estimation of the images obtained by emission tomograph with coded aperture", *Statystychnyi ta intelektual'nyi analiz danykh u medyko-humanitarnykh doslidzhenniakh (SIAD-2011). Materialy II Vseukrains'koi naukovopraktychnoi INTERNET konferentsii*. Lugans'k, DZ "Lugans'kyi derzhavnyi medychnyi universytet", p. 53-54.

Поступила в редакцію:
30.03.2015

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. А.А. Зори

О.В. Кочергин, В.Ю. Плахотник
ВП НДІ «Іскра».

Дистанційна ідентифікація і радіометрія джерел гамма-випромінювання В статті розроблений алгоритм відновлення спектрів пікселів зображення розподілення джерел γ -випромінювання, що одержані за допомогою системи візуалізації γ -випромінювання з кодовою апертурою. Показана можливість розділення спектрів індивідуальних джерел та ідентифікації радіонуклідів за їхніми спектральними характеристиками, оцінювання радіометричних характеристик джерел. Наведений алгоритм може бути застосований для відновлення спектрів як точкових, так і протяжних джерел. Проведено аналіз статистичних характеристик відновлених спектрів, вивчені особливості форми апаратної функції.

Ключові слова: кодована апертура, спектр гамма-випромінювання, статистика лічби, ідентифікація, радіометрія, оцінювання активності.

A.V. Kochgergin, V.Yu. Plakhotnik
Research Institute «Iskra».

Remote Identification and Radiometry of the Gamma-Ray Sources. The using of gamma-ray imaging systems with coded apertures for spectrometry, identification and radiometry of the gamma-ray sources which are localized in the system field of view is considered in the paper. Such prob-

lems are appeared, for example, at checking of the nuclear engineering objects or active remote search, localization and identification of the radionuclides on the ground. At such measurements proper spectrum of required radionuclide forms no more than several percents from summary spectrum registered by the detector. This situation makes the procedures of the identification and radiometric estimation of spatially localized source more difficult fundamentally. At the same time the unique properties of the coded aperture present the possibility to separate out the proper gamma-ray spectrum for desired direction from total registered spectrum.

The object of work is the development of the gamma-ray sources identification method on their spectral characteristics and analysis of the statistical features of the gamma-ray spectra are reconstructed by gamma-ray imaging system with coded aperture for aim the estimation of source radiometric characteristics. The algorithm of imaging pixel spectra reconstruction is developed in the base of correlation method which is used for reconstruction of sources distribution in the field of view of the imaging system with coded aperture. The possibility of separation of the individual sources spectra and radionuclide identification on their spectral characteristics, estimation of source radiometric characteristics is shown. Mentioned algorithm may be used for the reconstruction of the spectra both point and spread sources. The analysis of the reconstructed spectra statistical characteristics was carried out; the peculiarities of the device function shape were studied.

The introduced method of the processing of the data obtained by gamma-ray imaging system with coded aperture at an observation enables to arise an identification confidence and precision of the source radiometric estimation essentially. Using of the method provides a possibility of remote gamma-ray source spectrometry and radiometry in field conditions without sampling and realizes the unique properties of gamma-ray imaging system with coded aperture.

Keywords: coded aperture; gamma-ray spectrum; count statistics; identification; radiometry; activity estimation.



Кочергин Александр Васильевич. Украина, окончил Ворошиловградский машиностроительный институт, (кв. Молодежный 20, а. г. Луганск 91034, Украина) Основное направление научной деятельности – разработка, моделирование и исследование приборов и систем радиационного контроля.



Плахотник Владимир Ювинальевич. Украина, окончил Харьковский государственный университет, старший научный сотрудник, ОП НИИ «Искра» (кв. Молодежный 20, а. г. Луганск 91034, Украина) Основное направление научной деятельности – разработка, моделирование и исследование приборов и систем радиационного контроля