

УДК 539.1.074.3

Е.Н. Окрушко, В.Ю. Педаш, А.С. Раевский

Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины, 61001, Харьков, пр-т Ленина, 60  
e-mail адреса: i-lenochka@bigmir.net

## ПРИМЕНЕНИЕ РАЗНЫХ ТИПОВ ОТРАЖАТЕЛЕЙ В ДЛИННОМЕРНЫХ ДЕТЕКТОРАХ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОЗИЦИОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Методом Монте-Карло с использованием программного кода DETECT 2000 исследовалась работа детектора на основе кристалла CsI(Tl), в котором сбор света осуществлялся двумя фотодиодами, расположенными на торцах. Рассматривалось применение зеркального, диффузного отражателей, а также комбинированное использование обоих типов. Показано, что при использовании одного вида отражателя невозможно восстановить координату сцинтилляции.

**Ключевые слова:** метод Монте-Карло, сцинтилляционные детекторы, моделирование.

### Введение

Диагностика заболеваний является одной из важнейших частей современной медицины, которая включает в себя огромное количество различных методов исследования. Радионуклидная диагностика, благодаря своим уникальным свойствам, на протяжении многих лет занимает одно из первых мест при диагностике различных видов онкологических заболеваний, в частности, опухолей щитовидной железы, простаты, молочной железы, легких, головного мозга и других внутренних органов. Основным инструментом радионуклидной диагностики является гамма-камера, которая используется для визуализации распределения радиофармпрепаратов во внутренних органах пациента. Получаемые на гамма-камерах изображения, в отличие от рентгеновских, несут информацию не об анатомическом строении органов, а об их функциях [1].

Современные гамма-камеры строятся на базе детекторов, которые состоят из сплошного сцинтилляционного кристалла и позиционно-чувствительного фотоприемника. Последний, как правило,

представляет собой систему фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). Обычно в одном детекторе используется до 60 ФЭУ с диаметром фотокатода 3 или 2 дюйма, которые полностью покрывают сцинтилляционный кристалл, что позволяет улучшить пространственное и энергетическое разрешение [3]. Для уменьшения фона, систему ФЭУ и сцинтилляционный кристалл помещают в массивный свинцовый экран, толщиной не менее 10 мм. Это приводит к тому, что вес свинцового экрана в несколько раз превышает вес всех остальных элементов детектора, а также значительно увеличивает ее габаритные размеры. Например, в гамма-камере общего назначения «ОФЭКТ-2» используется 55 гексагональных ФЭУ и сцинтилляционный кристалл NaI(Tl) размером 585×470 мм и толщиной 9,5 мм. При этом высота блока детектора составляет 416 мм, длина – 694 мм, ширина – 596 мм [2].

Интенсивное развитие оптоэлектроники дает возможность использования других фотоприемников. Альтернативой применения ФЭУ в тонких детекторах могут быть фотодиоды с высокой чувствительностью. К основным недостаткам фотодиодов можно отнести

сильную температурную зависимость, высокий уровень шумов и малую площадь чувствительной поверхности, что в свою очередь требует использования большого числа фотоприемников. Основное преимущество фотодиодов – малые габаритные размеры и вес. Применение полупроводниковых фотосенсоров в детекторах с большой площадью затруднено прежде всего малой площадью чувствительной области, поэтому, использование фотодиодов требует новой конструкции детектирующей головки. Одним из способов построения является использование длинномерных детекторов, в которых два фотоприемника устанавливаются на торцах кристалла. В таком случае одна координата вдоль элемента вычисляется по соотношению сигналов с двух фотоприемников, а вторая координата определяется номером или позицией самого элемента.

#### Исследование характеристик длинномерных детекторов методом Монте-Карло

Методом Монте-Карло, используя программный код DETECT 2000 [4], исследовалась работа детектора на основе кристалла CsI(Tl). Площадь основания кристалла составляет  $2 \times 10 \text{ мм}^2$ , длина – 100 мм. Регистрация света осуществлялась двумя фотодиодами, расположенными на торцах кристалла. Размеры выходного окна  $2 \times 2 \text{ мм}^2$ . В расчете участвовало 10000 фотонов. Источник располагался в центре кристалла и перемещался вдоль оси кристалла (на рис. 1 ось  $z$ ). Рассматривались варианты использования зеркального и диффузного отражателя, а также их комбинация.

В DETECT 2000 существует 6 моделей описания оптической поверхности: Detect, Polish, Metal, Paint, Ground и Unified. Модель Detect представляет собой фотодатчик. Зеркальный отражатель может быть представлен двумя моделями поверхности: Metal и Polish. Моделями поверхности Paint, Ground и Unified представляются поверхности с диффузным отражателем. Использование модели

Unified дает возможность более точно охарактеризовать поверхность при помощи дополнительных коэффициентов, контролирующих интенсивность излучения:  $C_{sl}$  – коэффициент зеркального отражения относительно нормали микрограни,  $C_{ss}$  – коэффициент зеркального отражения относительно средней нормали поверхности,  $C_{dl}$  – коэффициент диффузного отражения,  $C_{bs}$  – коэффициент обратного отражения.

Исследовались следующие типы отражателей:

1. Зеркальный отражатель, с коэффициентом отражения 0,95, представлен моделью поверхности Polish.
2. Диффузный отражатель, с коэффициентом отражения 0,94, представлен моделью поверхности Unified. Для более точного описания поверхности используются 4 дополнительных коэффициента: 0.0001ss, 0.1sl, 0.0001bs, 0.8998dl [5].

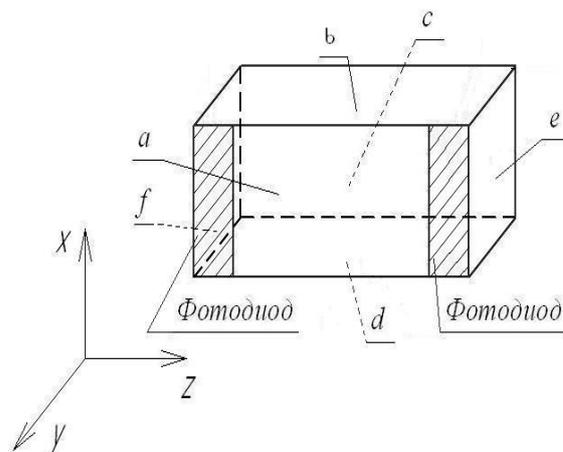


Рис. 1. Схематическое изображение длинномерного детектора.

Модели используемых комбинаций отражателей (рис.1):

- M1. Детектор, в котором грани  $a, b, c, d, e, f$  покрыты диффузным отражателем.
- M2. Детектор, в котором грани  $a, b, c, d, e, f$  покрыты зеркальным отражателем.
- M3. Детектор, в котором грани  $e, f$  обработаны зеркальным отражателем, а боковые грани  $a, b, c, d$  – диффузным.
- M4. Детектор, в котором грань  $a$  покрыта зеркальным отражателем, а грани  $b, c, d, e, f$  – диффузным.

М5. Детектор, в котором грани  $a, d$  покрыты зеркальным отражателем, а грани  $c, b, e, f$  – диффузным.

М6. Детектор, в котором грани  $a, b, d$  покрыты зеркальным отражателем, а грани  $c, e, f$  – диффузным.

М7. Детектор, в котором грани  $a, e, c, f$  покрыты зеркальным отражателем, а грани  $b, d$  – диффузным.

При моделировании были получены и проанализированы сигналы с двух фотоприемников. По полученным данным строились графики зависимости количества зарегистрированных фотонов  $N$  от координаты  $z$  точки сцинтилляции для каждого детектора. На рис. 2 представлены графики данных зависимостей для некоторых детекторов.

Для удобного анализа полученных зависимостей вводился коэффициент восстановления  $k_r$ , который вычисляется по формуле:

$$k_r = \frac{n - m}{n + m},$$

где  $n$  – сигнал с первого фотодиода,  $m$  – сигнал со второго фотодиода.

На рис. 3 приведены графики зависимости коэффициента восстановления  $k_r$  от координаты  $z$  точки сцинтилляции для некоторых детекторов.

### Результаты моделирования

Анализируя полученные зависимости, можно оценить точность и линейность восстановления координаты точки сцинтилляции в кристалле. Для наиболее удобного и точного восстановления зависимость коэффициента восстановления от положения точки сцинтилляции в кристалле должна иметь линейный характер и изменяться в интервале от -1 до 1. В этом случае

производная  $\frac{dk_r}{dz}$  одинаковая в любой

точке сцинтилляции, следовательно, влияние шумов также будет неизменным.

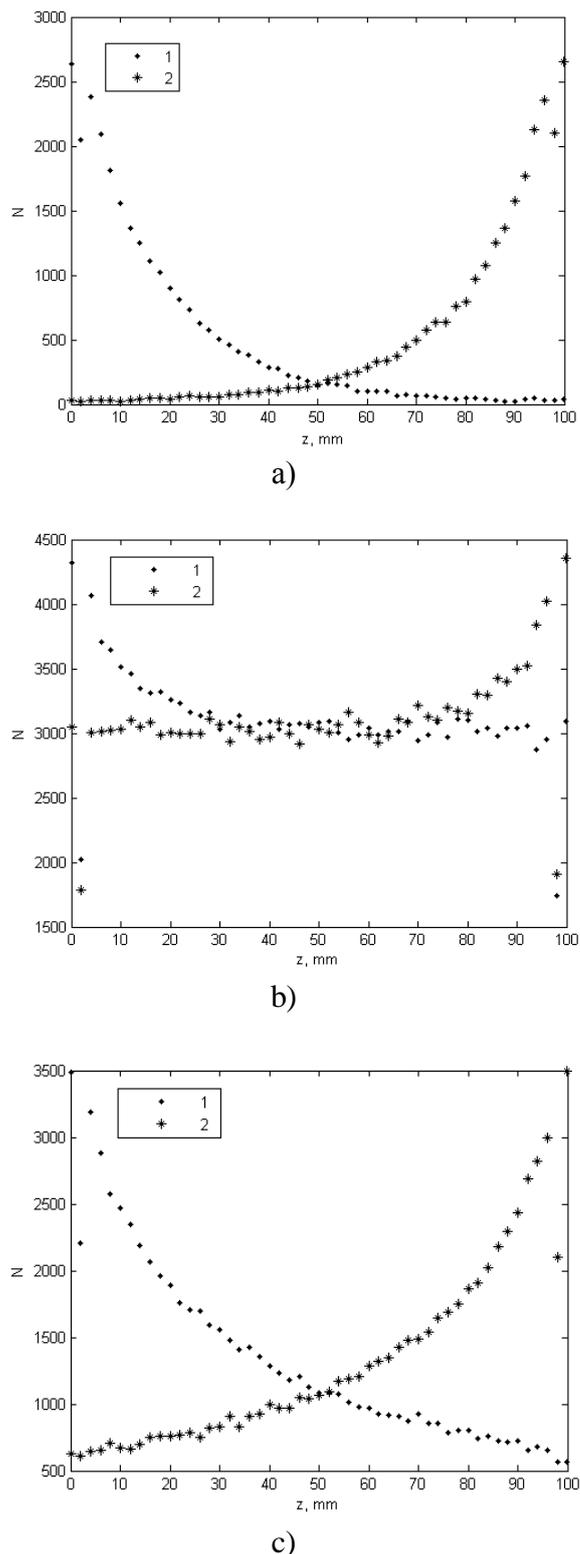


Рис. 2. Графики зависимости количества зарегистрированных фотонов  $N$  от координаты сцинтилляции  $z$ : а) для модели детектора М1, б) для модели детектора М2, в) для модели детектора М7 (Кривые 1 – сигнал с первого фотодиода, кривые 2 – сигнал со второго фотодиода).

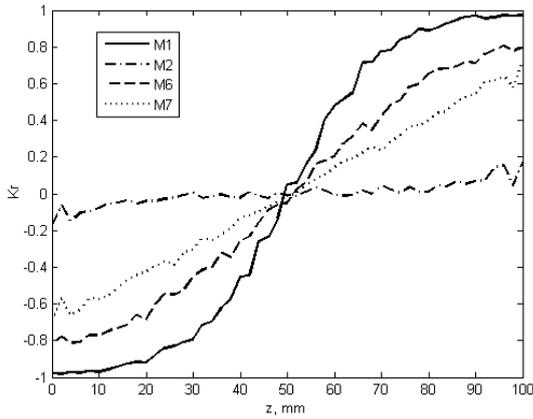


Рис. 3. График зависимости коэффициента восстановления  $k_r$  от координаты сцинтилляции  $z$ .

В модели детектора M2, в которой все боковые грани кристалла обработаны зеркальным отражателем, коэффициент восстановления  $k_r$  постоянный по всей длине детектора. В этом случае восстановление координаты  $z$  является математически невозможным.

При замене отражателя на диффузный (модель детектора M1) зависимость коэффициента восстановления  $k_r$  от точки сцинтилляции  $z$  имеет нелинейный характер и, как следствие, производная  $\frac{dk_r}{dz}$  изменяется. Это, в свою очередь, приводит к тому, что влияние шумов по всей длине детектора является разным. На краях детектора изменение положения источника приводит к малому изменению коэффициента восстановления  $k_r$  и любые шумы в данной модели

приводят к большой погрешности восстановления координаты сцинтилляции.

Из всех исследуемых моделей детекторов линейный характер зависимости коэффициента восстановления  $k_r$  от точки сцинтилляции  $z$  по всей длине наблюдается только в модели детектора M7 и изменяется в интервале от -0,7 до 0,7. Производная  $\frac{dk_r}{dz}$  в любой

точке практически не изменяется и влияние шумов также является постоянным в любой точке. Такая зависимость  $k_r$  является близкой к оптимальной и позволяет с высокой точностью восстановить координату сцинтилляции.

### Выводы

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что невозможно восстановить координату сцинтилляции при использовании только диффузного или только зеркального отражателей. Оптимальной конфигурацией длиномерного детектора, в котором можно точно восстановить координату сцинтилляции, является модель детектора M7. В данной модели используется зеркальный и диффузный отражатели и сбор света осуществляется двумя фотодиодами, расположенными на торцах.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика визуализации изображений в медицине, Под ред. С. Уэбба (Мир, Москва, 1991).
2. А.С. Раевский, А.В. Демин, О.И.Паскевич, Применение гамма – камеры «ОФЭКТ – 2» при диагностике костных метастазов, Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. 24, 160 (2009).
3. Сцинтилляционные материалы. Инженерия, устройства, применения, Под ред. Б.В. Гринева (ИСМА, Харьков, 2009).
4. C. Moisan, F. Cayouet and G. McDonald, DETECT2000. A Program for Modeling Optical Properties of Scintillators(Canada,2000).
5. M. Janecek, William W. Moses, Optical Reflectance Measurements for Commonly Used Reflectors , IEEE Trans.Nucl. Sci., no. 4, 55( Aug. 2008).

E.N. Okrushko, V.Yu. Pedash, A.S.Rayevsii

Institute for Scintillation Materials of NAS of Ukraine, 61001, Kharkov, 60 Lenin Ave.

## **APPLICATION OF DIFFERENT KINDS OF REFLECTORS IN LONG-LENGTH DETECTORS FOR IMPROVEMENT OF THE POSITIONAL SENSITIVITY**

The operation of the detector which is based on CsI(Tl) crystal was investigated by using the Monte Carlo method implemented in the DETECT 2000 code. In the detector the collection of the light occurs by two photodiode which are situated on the ends of the detector. Application of the mirror and diffusive reflectors and also combination of both of them were under investigation. We show that application of only one kind of reflectors did not allow to reconstruct the coordinate of the scintillation.

**Key words:** Monte Carlo method, scintillation detectors, simulation.

Е.Н. Окрушко, В.Ю. Педаш, А.С. Раєвский

Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, просп. Леніна, 60, Харків, 61001

## **ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ВІДБИВАЧІВ У ДОВГОМІРНИХ ДЕТЕКТОРАХ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ПОЗИЦІЙНОЇ ЧУТЛИВОСТІ**

Методом Монте-Карло з використанням програмного коду DETECT 2000 досліджувалася робота детектора на основі кристала CsI(Tl), в якому збір світла відбувався двома фотодіодами, розміщеними на торцях. Розглядалося використання дзеркального, дифузного відбивачів, а також комбіноване використання обох типів відбивачів. Показано, що при використанні одного типу відбивачів неможливо відновити координату сцинтиляції.

**Ключові слова:** метод Монте-Карло, сцинтиляційні детектори, моделювання.