

УДК 53.05

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА АНГЕРА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КООРДИНАТЫ ТОЧКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТОЛСТОМ ПЧ ДЕТЕКТОРЕ**

В. Камышан, В. Педаш

*Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины,  
пр. Ленина, 60, 61001, Харьков, Украина.  
kamyshan@isma.kharkov.ua  
pedash@isma.kharkov.ua*

Методом компьютерного моделирования исследовано применение модифицированного алгоритма Ангера для восстановления координаты точки взаимодействия в толстом ПЧ детекторе. Построена геометрическая модель ПЧ детектора. Проведено серию симуляций с различным положением точки вспышки. Показано, что использование модифицированного алгоритма Ангера позволяет устранить проблему нелинейных искажений изображения, связанных со стягиванием восстановленных точек к центру координатной сетки. Недостатком метода является появление других нелинейных искажений в виде стягивания восстановленных точек вспышек к центрам ФЭУ. Но эту проблему можно устранить нелинейной коррекцией изображения.

*Ключевые слова:* детектор, ФЭУ, точка взаимодействия, метод Ангера, нелинейные искажения.

Сегодня актуальной является идея применения гамма-телескопа для транспортного мониторинга перемещения источников радиоактивного излучения. Гамма-телескопы нужно использовать не только для обнаружения, но и для идентификации объекта излучения. Сцинтилляционный детектор телескопа должен работать на энергиях порядка 0,5 МэВ и выше. Для регистрации излучения такой энергии используют сравнительно толстые сцинтилляционные кристаллы. Увеличение толщины детектора позволяет обеспечить большую вероятность регистрации гамма-квантов с высокой энергией, но негативно сказывается на пространственном разрешении. Это связано с проблемой глубины точки взаимодействия в толстом кристалле. Она заключается в том, что при изменении глубины точки взаимодействия меняется и распределение количества фотонов по фотокатодам ФЭУ, из которых, как правило, формируют ПЧ фотодетектор. Это приводит к нелинейным искажениям изображения, которые изменяются при осевом смещении точки взаимодействия. Поэтому использование толстого детектора и влечет за собой ухудшение пространственного разрешения.

Одним из подходов к увеличению пространственного разрешения является совершенствование метода восстановления координат и энергии сцинтилляции. Как

правило, для восстановления координаты вспышки применяют алгоритм Ангера. Этот метод обладает рядом недостатков, из которых наиболее значимыми являются усиление шумов ФЭУ и придание слишком большого веса ФЭУ, ближайшему к месту сцинтилляции.

Распределение потока фотонов от сцинтилляционной вспышки описывает функция рассеяния света (ФРС) в кристалле. Координаты сцинтилляции, как правило, совпадают с максимумом этой функции. Распределение света от сцинтилляции регистрируют ФЭУ, которые образуют гексагональную решетку и покрывают всю поверхность кристалла. Для восстановления параметров сцинтилляции необходимо по зарегистрированным ФЭУ значениям дискретизированной ФРС конкретной сцинтилляции определить её координаты и энергию. Для этой цели применяют алгоритм Ангера, согласно которому оценку энергии сцинтилляции определяют как сумму значений, а координаты сцинтилляции  $x$ ,  $y$  – как центр тяжести дискретизированной ФРС:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_{PMT} \times E_i}{\sum_{i=1}^N E_i}, \quad (1)$$

где  $E_i$  – сигнал  $i$ -го ФЭУ,  $x_{PMT}$  – координата центра  $i$ -го ФЭУ.

Предлагают для восстановления координат применить модифицированный метод Ангера. Этот алгоритм описан в работе Р. Пани, связанной с анализом глубины взаимодействия в кристалле  $\text{LaBr}_3$  [4]. Он использует пороговое значение энергии сцинтилляции. В качестве этого параметра выбирают “слабые” сигналы ФЭУ, которые, как правило, геометрически удалены от места вспышки. Тогда координату определяют так:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_{PMT} \times (E_i - n)^2}{\sum_{i=1}^N (E_i - n)^2} \quad (2)$$

где  $n$  – пороговое значение энергии. Значение показателя степени 2 в формуле получено эмпирическим путем.

**Метод исследования.** Исследование проводили методом компьютерного моделирования с использованием программного кода Detect2000. Эта программа предназначена для изучения свойств собирания света в сцинтилляторе. Она генерирует отдельные фотоны в определенном месте сцинтилляционного кристалла, следит за движением каждого фотона по различным средам и характером взаимодействия с поверхностями, а также сохраняет его судьбу (детектирование, поглощение, выход из среды).

Построено модель ПЧ детектора, которая представляет собой сцинтилляционный кристалл  $\text{CsI(Tl)}$  размером  $310 \times 285 \times 20$  мм, имеющий форму параллелепипеда. Кристалл со всех сторон окружен стеклянным световодом толщиной 11 мм. Сигнал регистрируется 45 ФЭУ с эффективным диаметром 48 мм, которые расположены в гексагональном порядке на поверхности световода. Также в среде программы Matlab 7.1 написано программы для восстановления координат сцинтилляции по функции рассеяния света в кристалле, использующие два алгоритма: классический метод Ангера и модифицированный.

Проведен ряд симуляцій с различным положением точки взаимодействия в кристалле. По полученным сигналам ФЭУ (число зарегистрированных фотонов света) выполнено восстановление координат точки взаимодействия двумя алгоритмами.

Исследована позиционная чувствительность модели детектора по трем направлениям в кристалле ( $x, y, z$ ), показана на рис. 1–3.

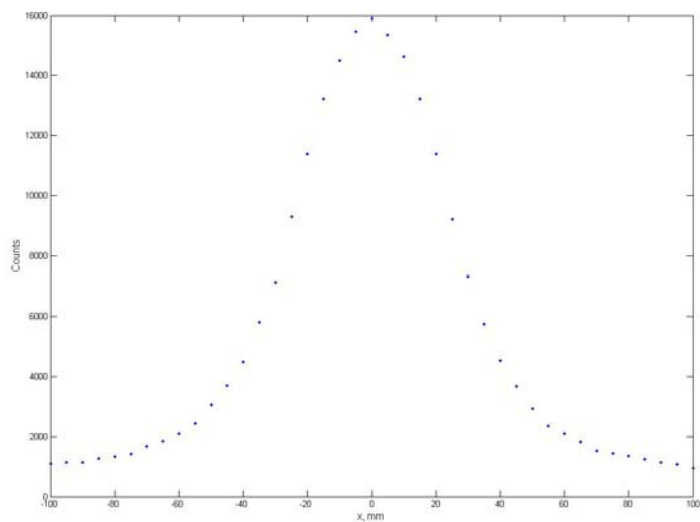


Рис. 1. Позиционная чувствительность детектора при смещении точки взаимодействия вдоль оси X.

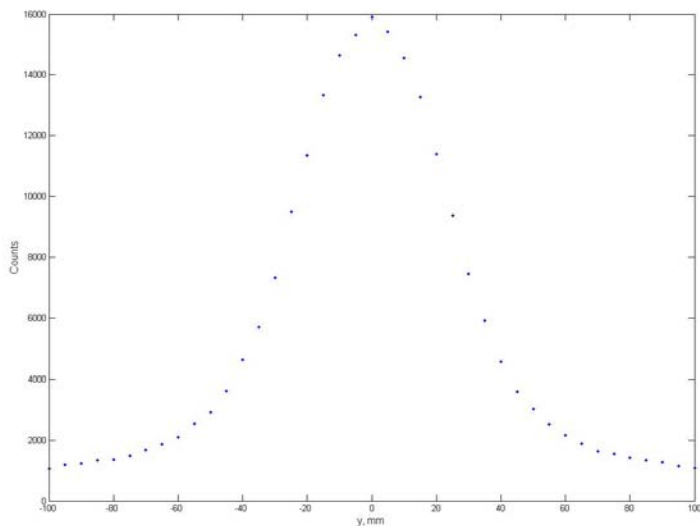


Рис. 2. Позиционная чувствительность детектора при смещении точки взаимодействия вдоль оси Y.

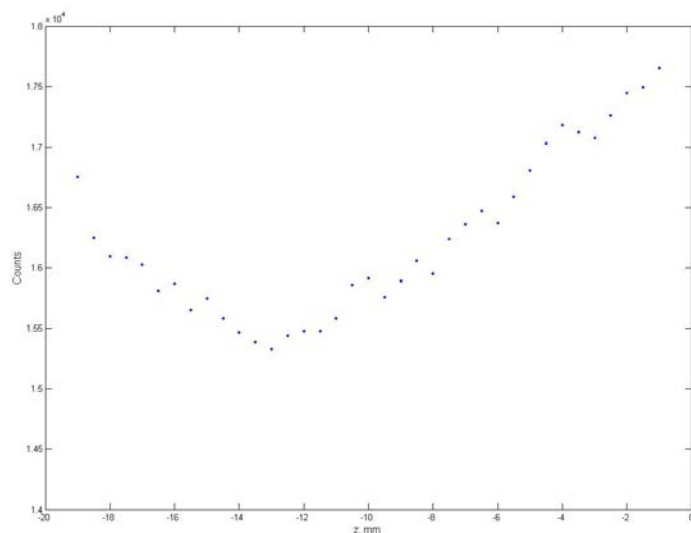


Рис. 3. Позиційна чутливість детектора при зсуві точки взаємодіяння вздовж осі  $Z$ .

Характер змінення сигналів ФЭУ при зсуві точки взаємодіяння вздовж напрямлень  $X$  і  $Y$  дозволяє утверждати о хорошій позиційній чутливості. Що стосується  $Z$  напрямлення, то чутливість відсутня. Такий вид кривої зв'язан з різною оптичною довжиною шляху фотонів, генеруємих в кристалі. Поєтому установлено, що детектор має хорошу позиційну чутливість тільки по двом напрямленням –  $X$  і  $Y$ .

Для аналізу алгоритмів відновлення сгенерована сітка рівномірно розподілених точок сцинтиляції і виконано відновлення двома алгоритмами.

**Результати.** На рис. 4 зображено відновлення стандартним методом Ангера сітки рівномірно розподілених точок. Як видно, відновлені точки стягуються к центру координатної сітки. Таке розположення реконструйованих точок буде нелінійним іскаженіем зображенія, которое является явным недостатком данного метода.

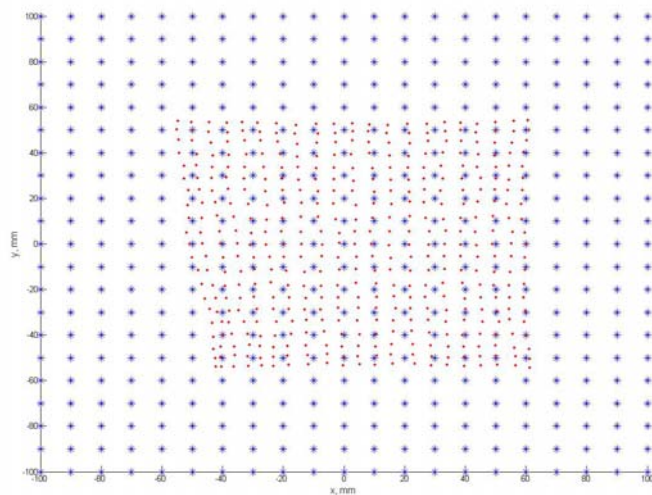


Рис. 4. Исходные (\*) и восстановленные (●) методом Ангера точки взаимодействия.

На рис. 5 изображено восстановление модифицированным алгоритмом.

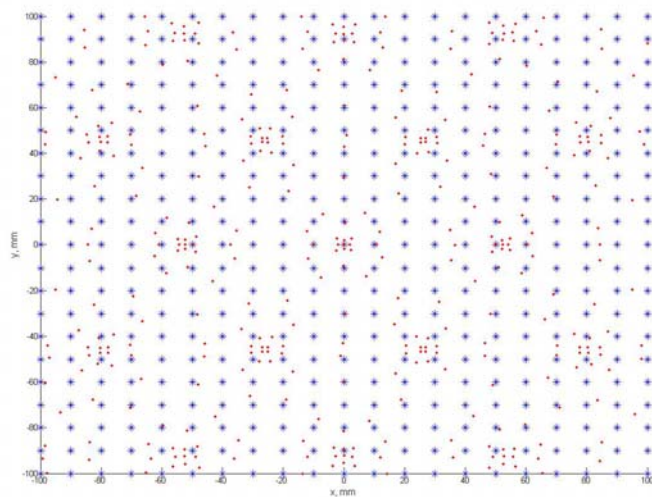


Рис. 5. Исходные (\*) и восстановленные (●) модифицированным методом Ангера точки взаимодействия.

При восстановлении модифицированным алгоритмом (см. рис. 5) сжатия изображения не происходит. Точки распределены по всей исследуемой плоскости. Наблюдается стягивание точек к центрам ФЭУ, что также является нелинейным искажением.

Рассмотрим восстановление координат сцинтилляций, расположенных на линии, проходящей через центральный ФЭУ. Получим изображения, показанные на рис. 6–9.

Из графиков 6–9 видно, что стандартный метод Ангера дает разброс при восстановлении точек около 0,6 мм по  $X$  и 6 мм по  $Y$ , в то время как модифицированный метод 0,2 мм по  $X$  и 2 мм по  $Y$ . Сравнив эти отклонения восстановленных координат от исходных, можно утверждать, что модифицированный алгоритм позволяет более точно выполнить восстановление.

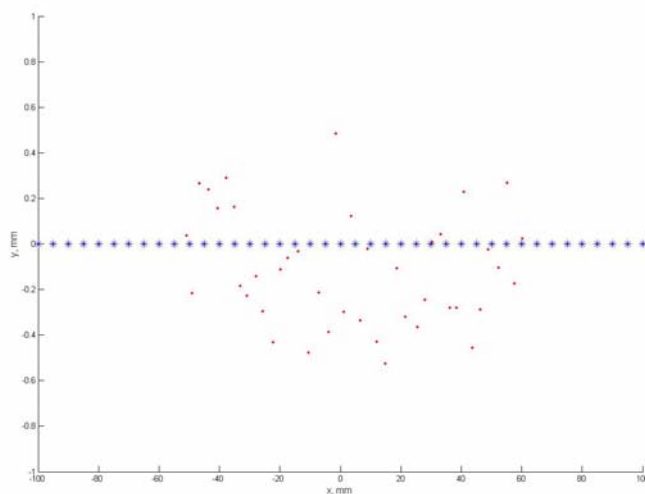


Рис. 6. Исходные (\*) и восстановленные (●) методом Ангера точки взаимодействия.

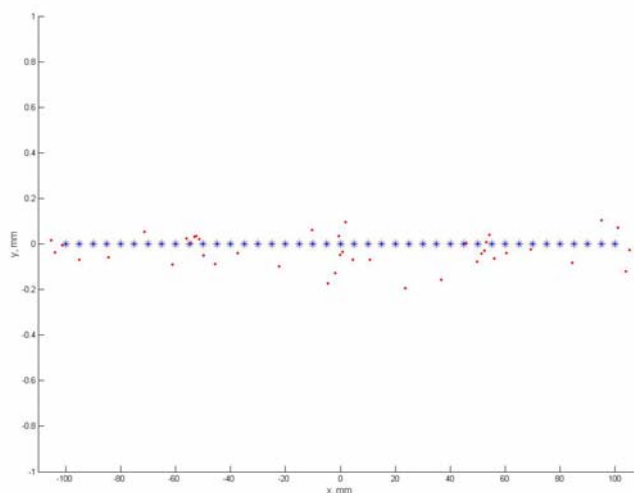


Рис. 7. Исходные (\*) и восстановленные (●) модифицированным методом Ангера точки взаимодействия.

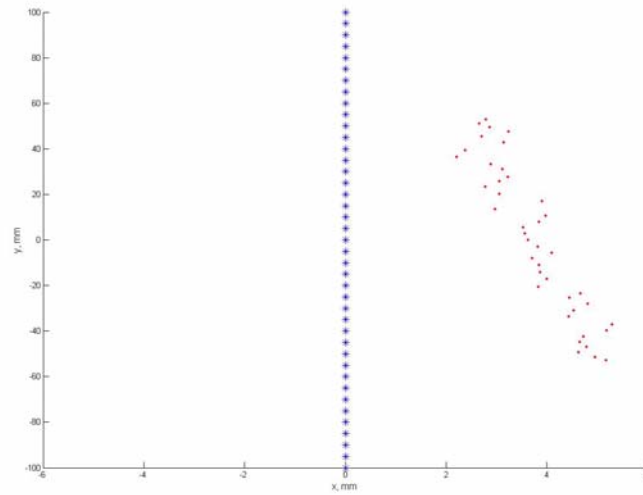


Рис. 8. Исходные (\*) и восстановленные (●) методом Ангера точки взаимодействия.

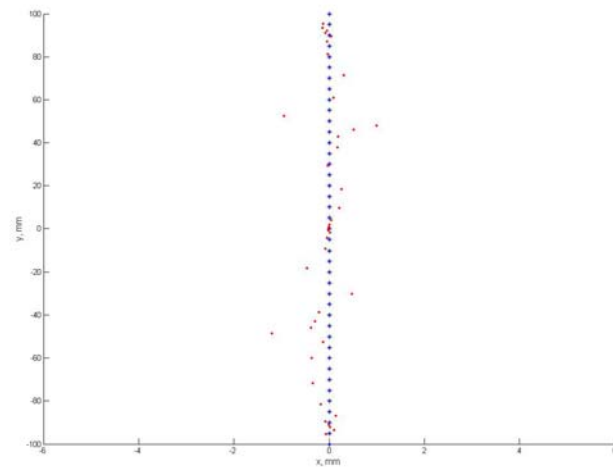


Рис. 9. Исходные (\*) и восстановленные (●) модифицированным методом Ангера точки взаимодействия.

Таким образом, установлено, что использование модифицированного алгоритма восстановления позволяет устранить проблему нелинейных искажений, связанных со сжатием восстановленных точек к центру координатной сетки, а также уменьшить влияние ФЭУ, находящихся близко к месту сцинтилляции. Кроме того, данный метод обеспечивает более точное восстановление координаты вспышки. Недостатком метода являются другие нелинейные искажения, проявляющиеся в виде стягивания

восстановленных точек вспышки к центрам ФЭУ, которые могут быть скорректированы при помощи нелинейной коррекции.

Выводы, полученные в работе методом компьютерного моделирования, являются теоретическими, поэтому необходимо проверить применимость модифицированного алгоритма Ангера на опытном образце ПЧ детектора.

1. *Демин А.В.* Параллельная система обработки сигналов ФЭУ для восстановления координат сцинтилляций в детекторах гамма-камер / А.В. Демин, В.А. Колбасин // Вестн. НТУ “ХПИ”. – 2009. – №. 4. – С. 155–159.
2. *Камышан В.А.* Определение глубины точки взаимодействия в толстых ПЧ детекторах / В.А. Камышан, В. Ю. Педаш // тезисы школы-семинара [“Сцинтилляционные процессы и материалы для регистрации ионизирующего излучения”] (Старый Салтов, 12–15 сентября 2009 г.). Х.: ИСМА, 2009. – 39 с.
3. *Birks J.B.* The theory and practice of scintillation counting / J.B. Birks. Oxford: Pergamon Press, 1964. – 662 p.
4. *Pani R.* Investigation of depth dependent response of continuous LaBr<sub>3</sub> scintillation crystals // conference record IEEE Nuclear Science Symposium. Orlando (USA), 2009. – 3839 p.

#### **APPLICATION MODIFIED ANGER ALGORITHM FOR RECONSTRUCTION COORDINATE POINT OF INTERACTION IN THICK POSITION SENSITIVE DETECTOR**

**V. Kamyshan, V. Pedash**

*Institute of Scintillation Materials National Academy of Science of Ukraine,  
60 Lenin av., 6100 Kharkov, Ukraine.  
kamyshan@isma.kharkov.ua  
pedash@isma.kharkov.ua*

The reconstruction of the point of interaction coordinate in thick position sensitive detector by modified Anger algorithm was investigated using computer modeling. A set of simulations with various scintillation positions was made. It was shown that usage of modified Anger Algorithm can eliminate the problem of linear image distortion related to contraction of reconstructed positions to the center of coordinates. The drawback of this method is other linear distortion that is seen as contraction of reconstructed positions to the center of PMT. This type of distortion could easily be fixed using linearity correction methods.

*Key words:* Scintillation detector, Anger algorithm, linear distortion, PMT.



**ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНОГО АЛГОРИТМУ АНГЕРА ДЛЯ  
ВІДНОВЛЕННЯ КООРДИНАТИ ТОЧКИ ВЗАЄМОДІЇ В ТОВСТОМУ  
ПЧ ДЕТЕКТОРІ****В. Камишан, В. Педаш**

*Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України,  
пр. Леніна, 60, 61001, Харків, Україна.  
kamyshan@isma.kharkov.ua  
pedash@isma.kharkov.ua*

Методом комп'ютерного моделювання досліджено застосування модифікованого алгоритму Ангера для відновлення координати точки взаємодії в товстому ПЧ детекторі. Побудовано геометричну модель ПЧ детектора. Виконано серію симуляцій з різним положенням точки спалаху. З'ясовано, що використання модифікованого алгоритму Ангера дає змогу вирішити проблему нелінійних спотворень зображення, пов'язаних зі стягуванням відновлених точок до центра координатної сітки. Недоліком методу є поява інших нелінійних спотворень у вигляді стягування відновлених точок спалахів до центрів ФЕП. Однак цю проблему можна вирішити нелінійною корекцією зображення.

*Ключові слова:* детектор, ФЕП, точка взаємодії, метод Ангера, нелінійні спотворення.

Стаття надійшла до редколегії 11.05.2011

Прийнята до друку 31.05.2011