

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ С КОДИРУЮЩИМИ АПЕРТУРАМИ

ГАММА-ВИЗОРЫ

ОДНОФОТОННЫЕ ЭМИСИОННЫЕ
ТОМОГРАФЫ

МУХИН ВАСИЛИЙ ИВАНОВИЧ
Индивидуальный предприниматель

g.abc256@gmail.com
Тел.: +7 (903) 960-36-85

ИСМАРТ-2012
23 ноября 2012 года

Дубна

ВВЕДЕНИЕ

Определение пространственно-угловых характеристик поля излучения требуется при решении практических задач:

- медицинской радиоизотопной диагностики;
- спектрометрии излучений человека;
- радиационной промышленной интроскопии;
- ядерной безопасности, связанной с поиском, обнаружением и локализацией радионуклидов.

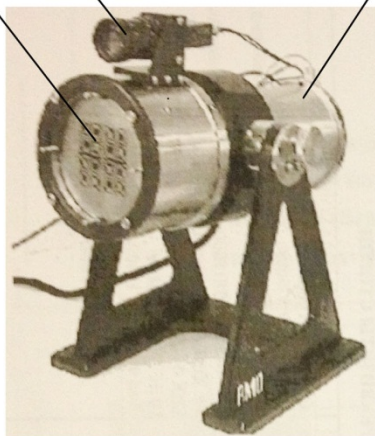
Определение пространственно-угловых характеристик поля излучения осуществляют с помощью:

- коллимированного одноканального детектора с использованием той или иной геометрии сканирования;
- коллимированного позиционно-чувствительного детектора;
- позиционно-чувствительного детектора с кодирующей апертурой;
- одноканального детектора с кодирующей апертурой (тема настоящего доклада).

ГАММА-ВИЗОР “RadCam”

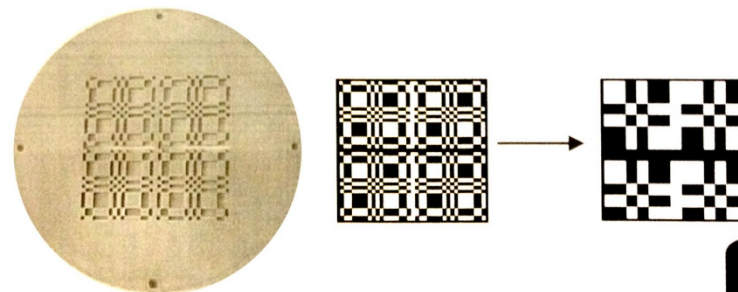
Кодирующая апертура
в виде раstra,
толщиной 6,35 мм

Видеокамера



Традиционный позиционно-чувствительный
сцинтилляционный детектор (тонкий сцинтиллятор + ЭОП)

Схема расположения прозрачных и не прозрачных
участков кодирующей апертуры на основе
псевдослучайной таблицы 19×19, выполненной из
полимера с вольфрамовым наполнителем



RMD
www.rmdinc.com

Аналоги в России разработаны в Российском
научном центре “Курчатовский институт”

Иванов О.П. “Получение рентгеновских и
гамма-изображений протяженных источников
с использованием кодирующих апертур”.

Диссертация на соискание ученой степени д.ф.-н.к. Москва, 2010 г.

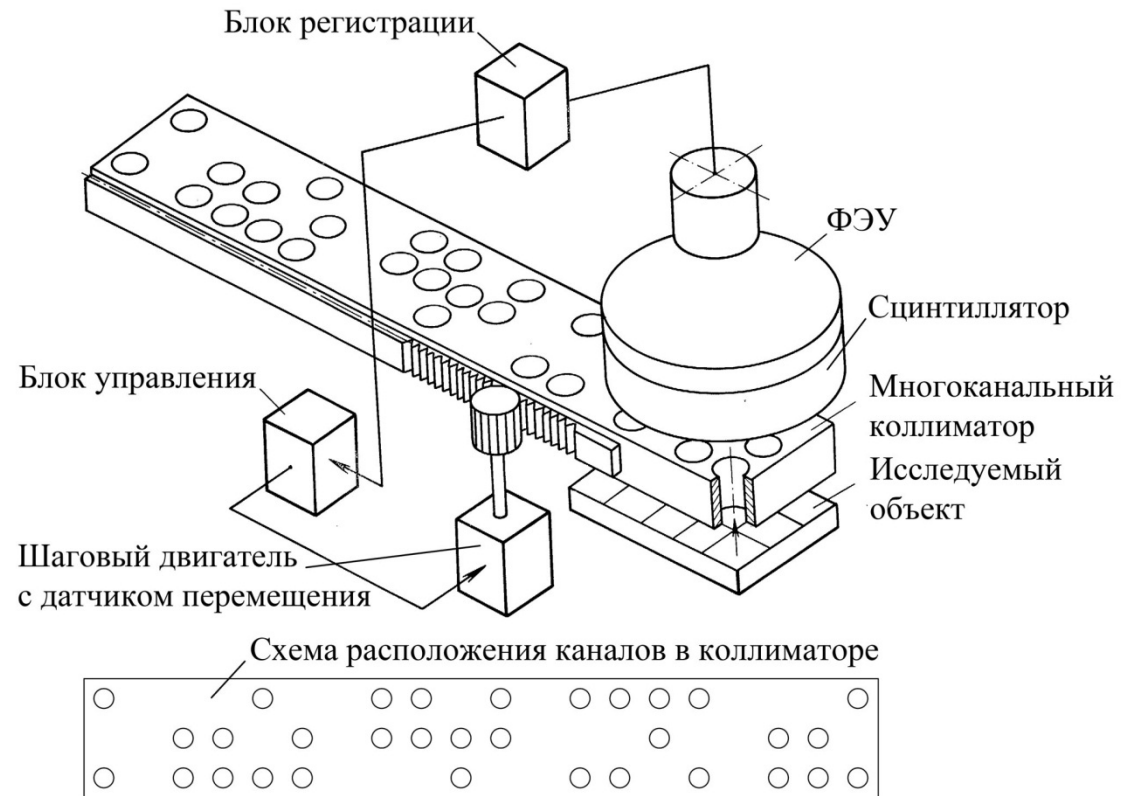
Фиг. 1

ГАММА-ВИЗОР С КОДИРУЮЩЕЙ АПЕРТУРОЙ № 1

(авт. свид. № 490358, 17.05.1974)

Параметры:

1. Количество ПЧД: m ($m=1$).
2. Количество позиций ПЧД: N ($N=15$).
3. Шаг перемещения коллиматора: L/N .
4. Длина коллиматора L .
5. Количество измерений: N .
6. Количество каналов: K ($K=32$).
7. Расположение каналов соответствует положению 1 в псевдослучайной последовательности, состоящей из всего из N единиц и нулей:
последовательность длиной $N = 15$
1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1
8. Гамма-визор регистрирует количество импульсов в n точках поля излучения:
 $n = N * m$ ($n=15$).



Фиг. 2

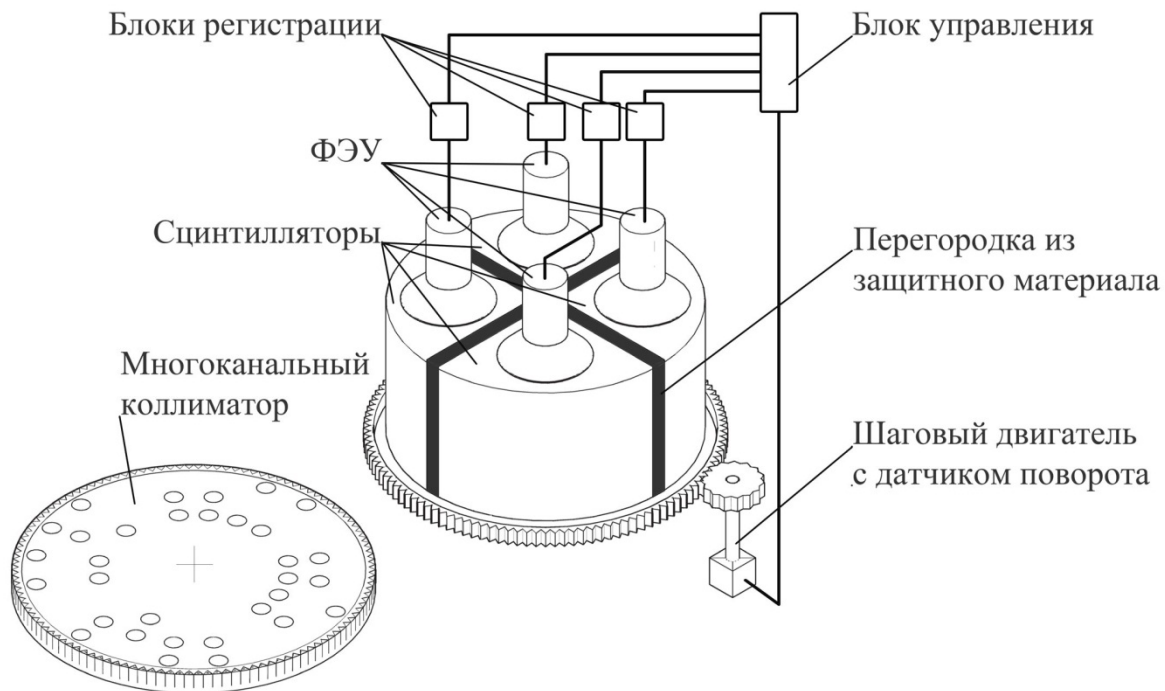
ГАММА-ВИЗОР С КОДИРУЮЩЕЙ АПЕРТУРОЙ № 2

(авт. свид. № 550605, 27.06.1975)

Параметры:

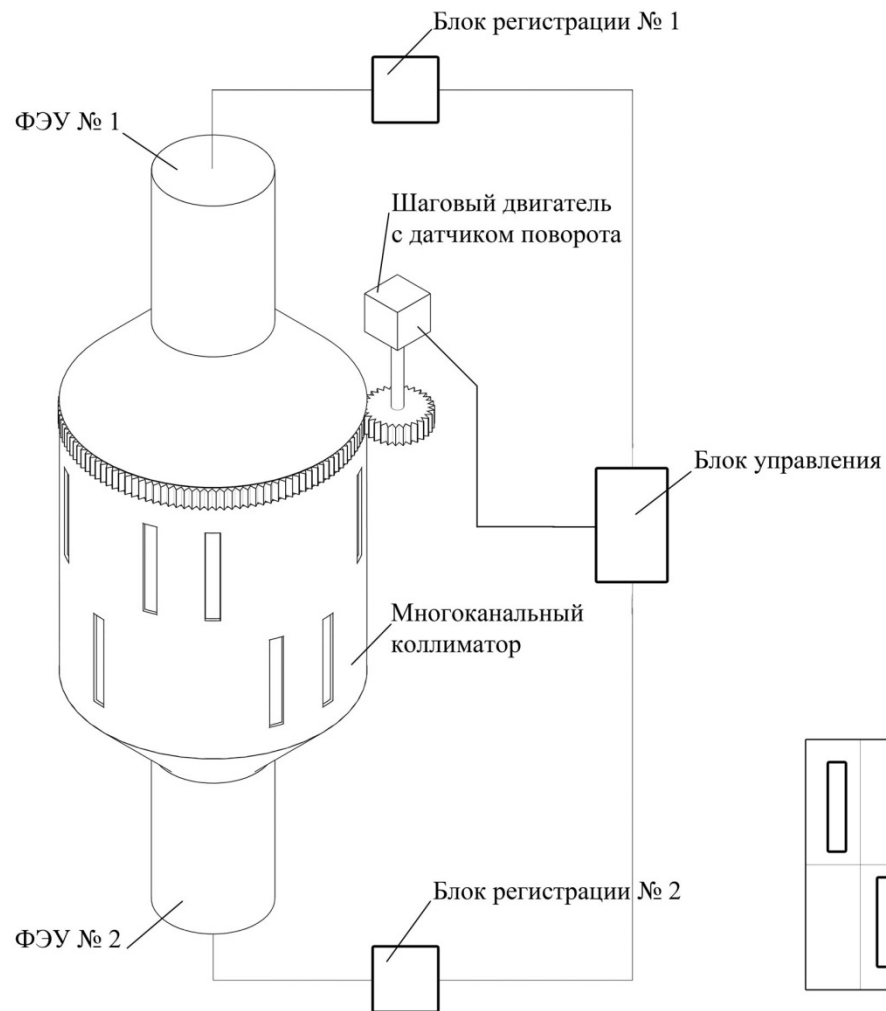
1. Количество ПЧД: m ($m=4$).
2. Количество позиций ПЧД: N ($N=15$).
3. Угол поворота коллиматора: $2\pi/N$.
4. Количество измерений: N .
5. Количество каналов:

$$K = (N+1) * m / 2 \quad (K=32).$$
6. Расположение каналов соответствует положению 1 в псевдослучайной последовательности, состоящей из всего из N единиц и нулей:
 последовательность длиной $N = 15$
 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1
7. Гамма-визор регистрирует количество импульсов в n точках поля излучения: $n = N * m$ ($n=60$).



Фиг. 3

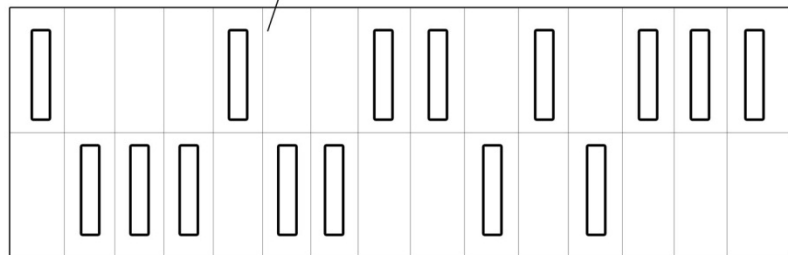
ГАММА-ВИЗОР С КОДИРУЮЩЕЙ АПЕРТУРОЙ № 3 (патент № 2160909, 31.12.1999)



Параметры:

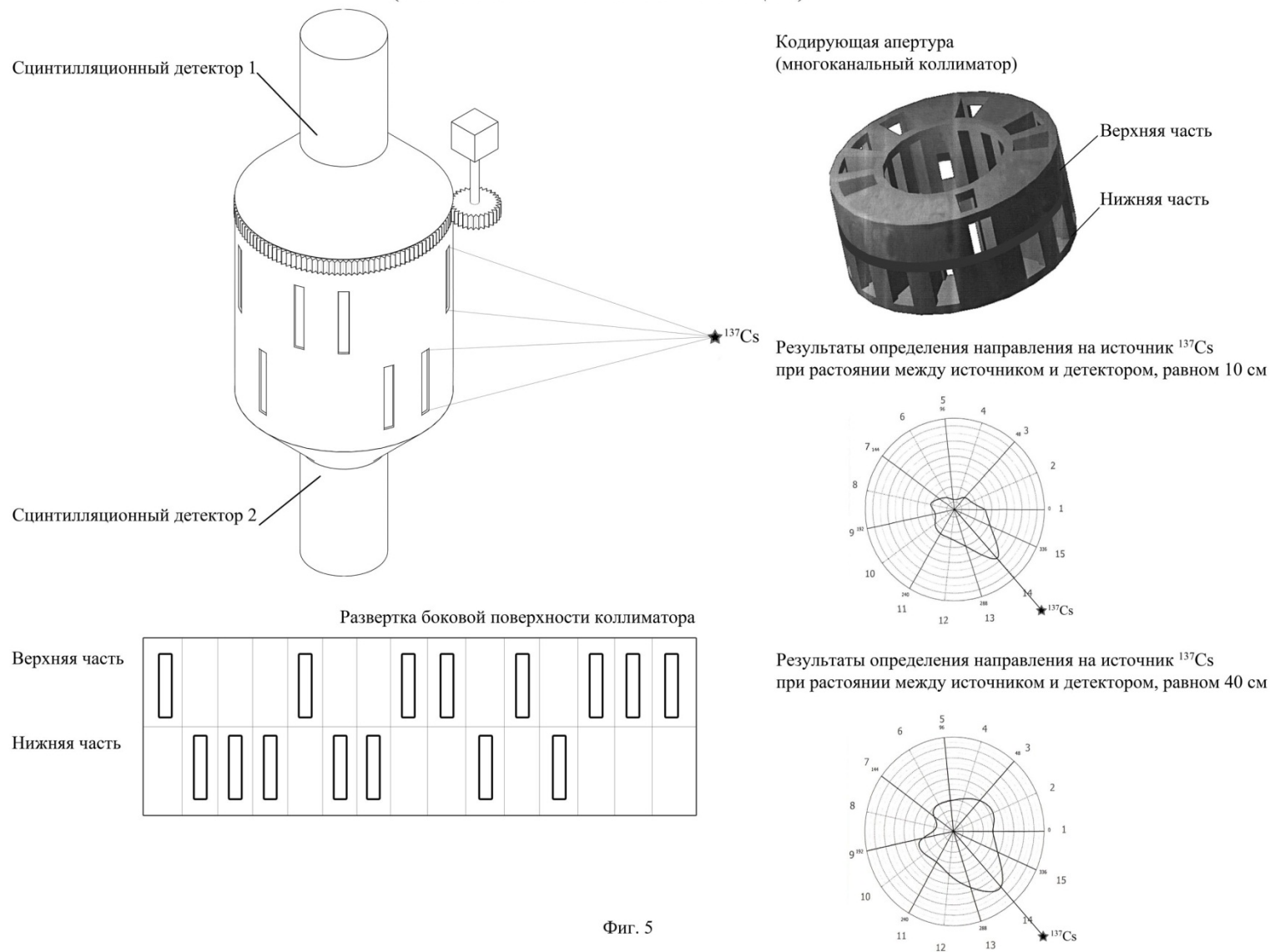
1. Количество ПЧД: m ($m=2$).
2. Количество позиций ПЧД: N ($N=15$).
3. Угол поворота коллиматора: $2\pi/N$.
4. Количество измерений: N .
5. Количество каналов: $K = N$ ($K=15$).
6. Расположение каналов в верхней части коллиматора соответствует положению 1 в псевдослучайной последовательности, состоящей из всего из N единиц и нулей: последовательность длиной $N = 15$
1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1
Расположение каналов в нижней части коллиматора инверсное и соответствует положению 0 в той же псевдослучайной последовательности.
7. Гамма-визор регистрирует количество импульсов в n точках поля излучения:
 $n = N * m$ ($n=30$).
8. Гамма-визор позволяет получить результаты со средним нулевым вкладом фона.

Развертка боковой поверхности коллиматора



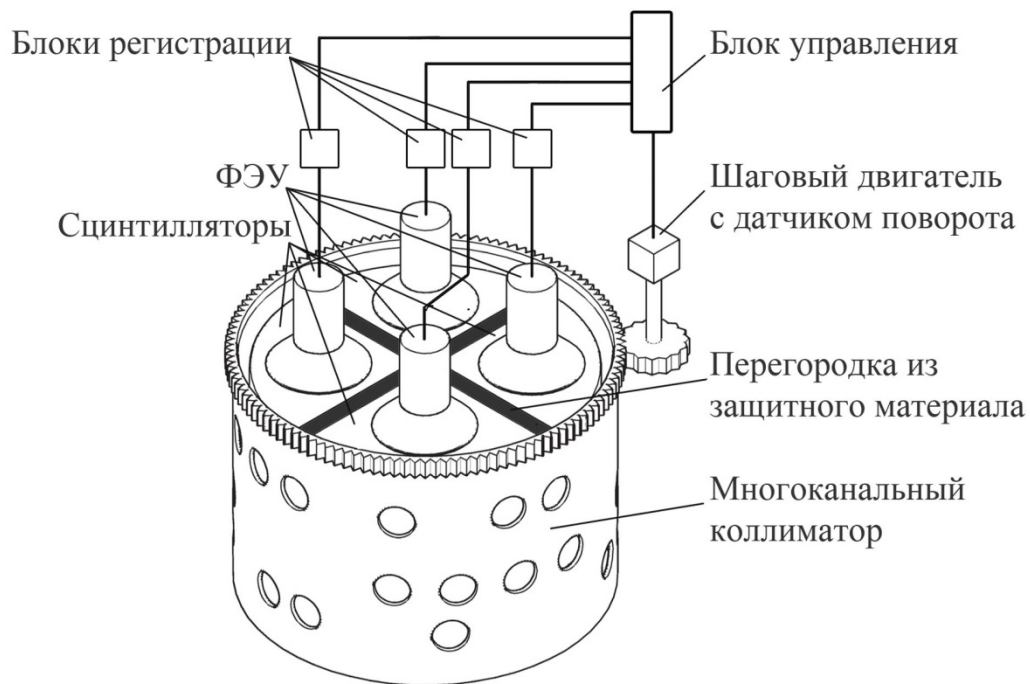
Фиг. 4

**ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАПРАВЛЕНИЯ НА ИСТОЧНИК ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ С КОДИРУЮЩИМИ АППЕРТУРАМИ
(БИПОЛЯРНАЯ СХЕМА РЕГИСТРАЦИИ)**



Фиг. 5

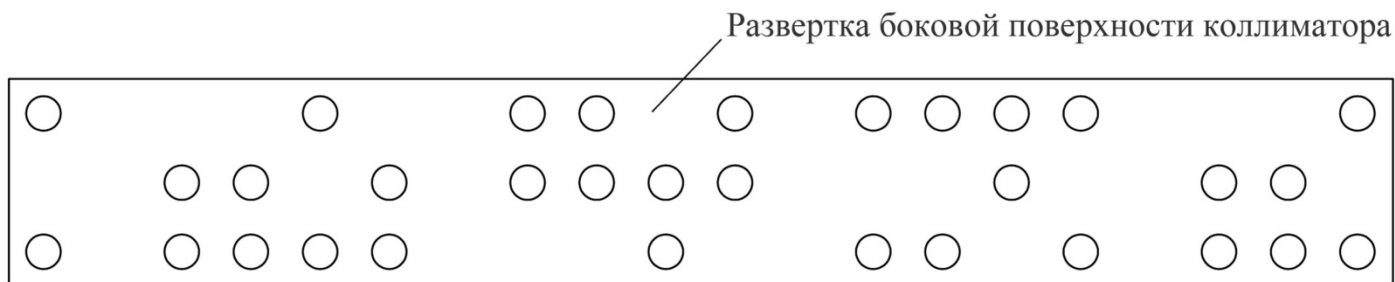
ГАММА-ВИЗОР С КОДИРУЮЩЕЙ АПЕРТУРОЙ № 4 (патент № ..., 20.11.2012)



Параметры:

1. Количество ПЧД: m ($m=4$).
2. Количество позиций ПЧД: N ($N=15$).
3. Угол поворота коллиматора: $2\pi/N$.
4. Количество измерений: N .
5. Количество каналов:

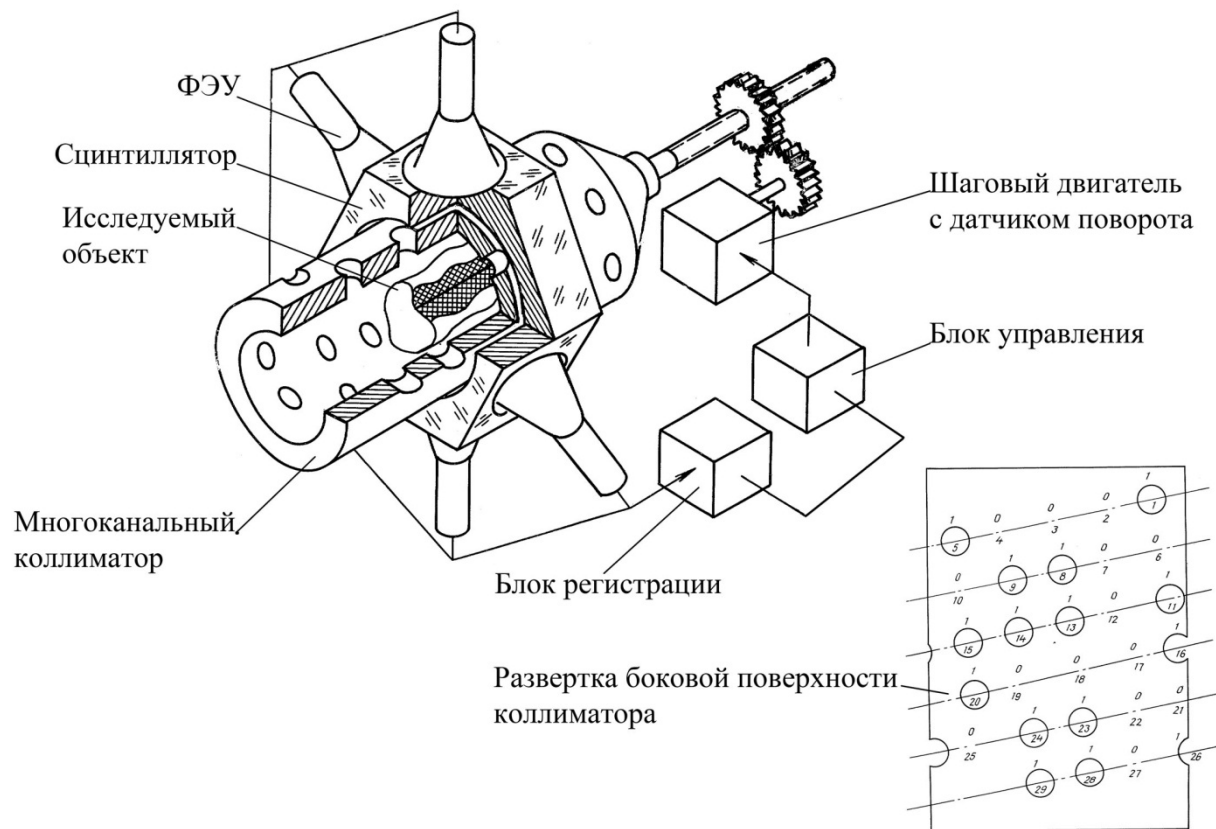
$$K = (N+1) * m / 2$$
 ($K=32$).
6. Расположение каналов соответствует положению 1 в псевдослучайной последовательности, состоящей из всего из N единиц и нулей:
 последовательность длиной $N = 15$
 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1
7. Гамма-визор регистрирует количество импульсов в n точках поля излучения: $n = N * m$ ($n=60$).



Фиг. 6

ОДНОФОТОННЫЙ ЭМИССИОННЫЙ ТОМОГРАФ № 1

(авт. свид. № 497930, 09.07.1974)

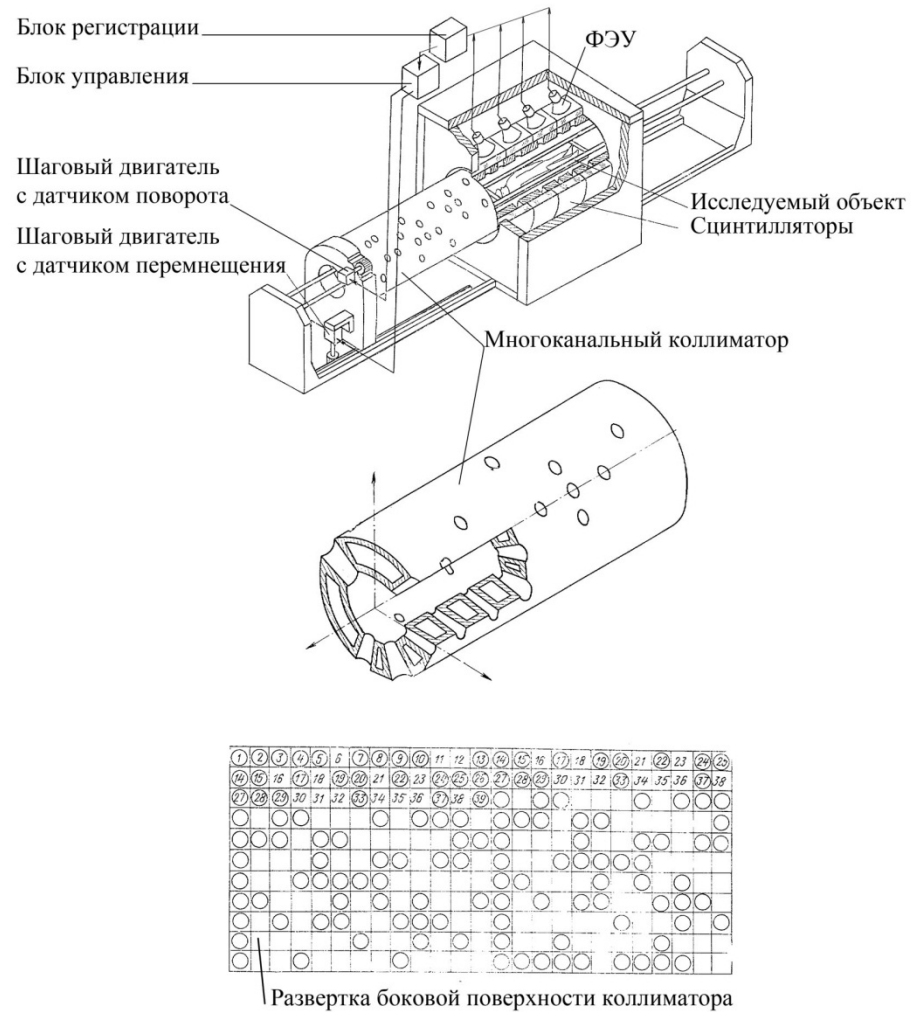


Фиг. 7

Параметры:

1. Количество ПЧД (все фотоумножители подключены к одному блоку регистрации): m ($m=1$).
2. Количество позиций ПЧД: N ($N=15$).
3. Угол поворота коллиматора с одновременным сдвигом вдоль оси: $2\pi/N$.
4. Количество измерений: N .
5. Количество каналов: K ($K=15$).
6. Расположение каналов соответствует положению 1 в псевдослучайной последовательности, состоящей из всего из N единиц и нулей: последовательность длиной $N = 15$
1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1
7. Однофотонный эмиссионный томограф регистрирует количество импульсов в n точках поля излучения:
 $n = N * m$ ($n=15$).

ОДНОФОТОННЫЙ ЭМИССИОННЫЙ ТОМОГРАФ № 2 (авт. свид. № 560195, 27.06.1975)



Фиг. 8

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РЕГИСТРАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДИРУЮЩИХ АПЕРТУР

1. Традиционная схема регистрации: $\varphi_i = \sum_j I_{ij} X_j + \Phi_i = X_i + \Phi_i$, $\overline{\Phi_i} = \Phi$, $D(\Phi_i) = \Phi_i$,
где I_{ij} – единичная диагональная матрица.

2. При регистрации с кодирующими апертурами: $\varphi_i = \sum_j K_{ij} X_j + \Phi_i$, где K_{ij} – функция пропускания коллиматора. Из требования получения наилучшей линейной оценки функции X_j , описывающей пространственные распределения характеристик поля излучения, следует, что матрица K_{ij} должна быть либо матрицей Адамара, либо матрицей инцидентности (N, k, λ) , где k – число единиц в каждой строке матрицы, а $\lambda = k(k-1)/N-1$.

Среди матриц инцидентности для практического использования можно выделить подкласс матриц-циркулянтов K_{ij} , состоящих из 1 и 0, первыми строками которых являются псевдослучайные последовательности.

Волков Д.В., Мухин В.И., Федоров Г.А. Оптимальное факторное планирование эксперимента по определению пространственных характеристик поля излучения. Прикладная ядерная спектроскопия. Выпуск 7. М. Атомиздат, 1977г., с.250–256.

3. При биполярной схеме регистрации:

$$\varphi_i(1) = \sum_j K_{ij}(0,1) X_j + \Phi_i, \quad \varphi_i(2) = \sum_j K_{ij}(1,0) X_j + \Phi_i = \sum_j [E_{ij} - K_{ij}(0,1)] X_j + \Phi_i,$$

$$\Delta\varphi_i = \varphi_i(1) - \varphi_i(2) = \sum_j (2K_{ij} - E_{ij}) X_j = \sum_j M_{ij}(1, -1) X_j, \quad D(\Delta\varphi_i) = \sum_j X_j + D(\Phi_i),$$

$$X_j = \sum_i M_{ji}^{-1} \Delta\varphi_i, \quad D(X_i) \approx \overline{X_i} + \frac{4}{N} \times D(\Phi_i).$$

Результаты не зависят от среднего уровня фона.

ВЫВОДЫ

Сцинтилляционные детекторы с кодирующими апертурами характеризуются:

- высокой эффективностью регистрации ионизирующего излучения, которое зависит от вида используемого сцинтиллятора;
- высоким энергетическим разрешением, которое зависит от вида используемого сцинтиллятора;
- высоким пространственным разрешением, которое зависит от защитных свойств материала кодирующего коллиматора (кодирующей апертуры);
- высокой помехозащищенностью за счет оптимальной модуляции полезного сигнала.

К недостаткам сцинтилляционных детекторов с кодирующими апертурами по сравнению с традиционными позиционно-чувствительными детекторами следует отнести увеличение общего времени измерения.