

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПРИБОРА КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОГО ФОНА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Низамов В.Р., студент; Лыков А.Г. ст. преподаватель**

*(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)*

Радиационная обстановка на горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях зависит главным образом от эффективности их проветривания, содержания радиоактивных веществ в рудах и горных породах, количества образующейся пыли, а также от интенсивности выделения радона и торона в атмосферу шахт, карьеров и помещений по переработке руд. Радон и торон высвобождаются из горных пород повсеместно и накапливаются в непроветриваемых или слабопроветриваемых объемах (горные выработки, производственные помещения перерабатывающих предприятий и т.п.). Присутствие этих газов зарегистрировано не только при добыче и переработке радиоактивных руд, но и на неурановых горнодобывающих и рудоперерабатывающих предприятиях[1]. Приведенные положения обуславливают необходимость контроля радиационного фона на горнодобывающих предприятиях.

Для оценки интенсивности гамма-излучения в настоящий момент используются газоразрядные и сцинтилляционные счетчики[2]. Наиболее перспективным направлением является использование второго типа счетчиков, который и будет положен в основу разрабатываемого прибора.

Суть сцинтилляционного метода заключается в следующем: сцинтилляторы – вещества (твердые, жидкие, газообразные) на поверхности которых появляются кратковременные световые вспышки вследствие действия на них ионизирующих частиц или лучей (гамма-квантов, электронов, альфа частиц и т.д.). Количество излучаемых фотонов веществом сцинтиллятора пропорционально поглощенной энергии ионизирующей частицы. Световой импульс, который появляется вследствие сцинтилляции, попадает на фотоприёмное устройство (чаще всего на фотокатод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ)) и преобразуется в электрический импульс тока или напряжения[2].

Одним из основных недостатков сцинтилляционного счетчика является пропуски гамма-квантов, что приводит к существенному возрастанию погрешности оценки интенсивности гамма-излучения, которая может достигать 15%. В соответствии с представленным недостатком для сцинтилляторов вводится один из метрологических параметров – эффективность, численно равная отношению числа гамма-квантов, зарегистрированных детектором к числу попавших в сцинтиллятор гамма-квантов. Эффективность зависит от энергии квантов и убывает с возрастанием энергии гамма лучей. Из литературных источников [3] установлено, что зависимость эффективности регистрации гамма-детектора от энергии гамма-лучей носит нелинейный характер и имеет вид, представленный на рисунке 1.

Для повышения метрологической надежности разрабатываемого прибора предлагается использовать представленную на рисунке 1 зависимость для внесения коррекции в результат измерения. Величина поправки будет рассчитываться по результатам измерения уровня энергии гамма-кванта в цифровой части прибора. Поскольку величина поправки носит нелинейный характер, то необходимо произвести аппроксимацию зависимости на рисунке 1. Получение аналитического выражения произведено с помощью метода наименьших квадратов. Установлено, что наиболее оптимальным вариантом является использование полинома четвертой степени вида:

$$\varepsilon = 1.47 - 3.68 \cdot E + 4.56 \cdot E^2 - 2.67 \cdot E^3 + 0.56 \cdot E^4.$$

Погрешность аппроксимации не превышает 1%.

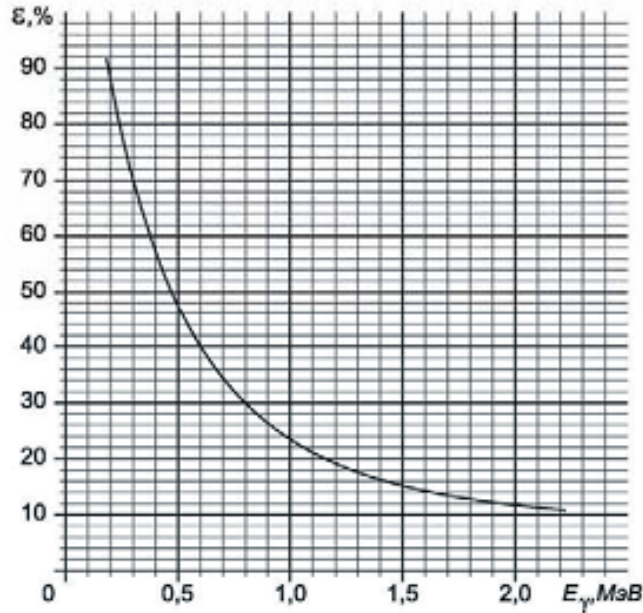


Рисунок 1 - Зависимость эффективности регистрации гамма-детектора с кристаллом NaI(Tl) от энергии гамма-лучей

В разрабатываемом приборе используется сцинтилятор (С) на кристалле NaI(Tl) – натрий йод активированный таллием. На основании представленных выше положений для оценки интенсивности гамма-излучения требуется измерять количество и энергию гамма квантов за определенный промежуток времени. Для этого в измерительный канал, после сцинтилляционного детектора (СД), устанавливаются управляемый компаратор (К) и интегратор (И) для подсчета количества частиц с определенным уровнем энергии. Далее полученный сигнал усиливается с помощью нормирующего усилителя (НУ) для приведения ко входному формату АЦП, где происходит его преобразование в двоичный код и передача полученного значения в микроконтроллер (МК) для дальнейшей обработки и вывода полученного результата на дисплей (Д). Структурная схема разработанного прибора контроля радиационного фона гамма-излучения приведена на рисунке 2.

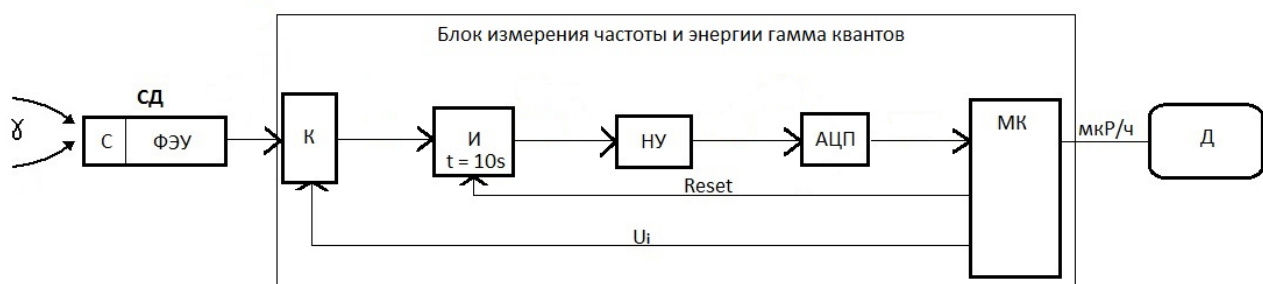


Рисунок 2 - Структурная схема прибора контроля радиационного фона гамма-излучения в условиях горнодобывающих предприятий

При работе прибора в микроконтроллер приходит информация о количестве импульсов от частиц с определенной энергией, пропорциональной амплитуде импульса с детектора. Амплитуда определяется по настройке управляемого компаратора от микроконтроллера. Зная амплитуду импульса можно определить энергию частицы, которая создала этот импульс по формулам [3]:

$$U = \frac{N \cdot P \cdot e}{C} \cdot k, \text{ В} \quad (1)$$

где С – ёмкость ФЭУ, с которой снимается импульс ( 50 пФ),

$k$  – коэффициент усиления ФЭУ ( $10^6$ ),  
 $P$  – вероятность ( $P = 0.1$ ),  
 $e$  – заряд электрона,  
 $N$  – количество фотонов, которые ФЭУ превращает в импульс,  
 $U$  – амплитуда импульса.

Из характеристики NaI(Tl) следует, что 16 % энергии детектируемой частицы идет на образование фотонов:

$$E \cdot 0.16 = 0.16 E, \text{ МэВ} \quad (2)$$

где  $E$  – энергия детектируемой частицы.

Фотоны создаются с длиной волны 415 нм, следовательно, на один фотон требуется 3 эВ. Количество фотонов, которое будет создано сцинтиллятором, определяется соотношением:

$$N = \frac{(E \cdot 0.16) \text{ МэВ}}{3 \text{ эВ}} = \frac{E \cdot 0.16 \cdot 10^6}{3} = E \cdot 0.053 \cdot 10^6 = (E \cdot 53000) \quad (3)$$

Подставив (3) в (1) получаем :

$$U = \frac{E \cdot 53000 \cdot 0.1 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}{50 \cdot 10^{-12}} \cdot 10^6 = 17 \cdot E \text{ (В)} \quad (4)$$

Таким образом, чтобы найти  $E$ , энергию частицы с которой был детектирован импульс с амплитудой  $U$ , надо воспользоваться формулой (4) преобразовав её к виду:

$$E = \frac{U}{17} \text{ (МэВ)} \quad (5)$$

Предлагаемый алгоритм работы прибора контроля радиационного фона гамма-излучения в условиях горнодобывающих предприятий включает в себя следующие операции:

- задание пропускающего уровня энергии гамма-квантов;
- измерение количества гамма-квантов с заданным уровнем энергии за определенный промежуток времени;
- расчет поправки для компенсации пропусков гамма-квантов;
- расчет истинного значения количества гамма-квантов с заданным уровнем энергии;
- сохранение полученного значения и повторение предыдущих операций для следующего уровня энергии;
- оценка интенсивности гамма-излучения на основании полученных значений по всем уровням энергий.

В результате внесения поправки погрешность оценки интенсивности гамма-излучения может быть уменьшена до значений менее 5%.

#### Список ссылок

1. РД 03-151-97 Методические указания по обеспечению требований радиационной безопасности при добыче и переработке минерального сырья на предприятиях (организациях) горнорудной и нерудной промышленности, отнесенных к радиационно-опасным производствам. - Утверждены Приказом Госгортехнадзора России от 14 октября 1997 г. N 35.

2. Ионизирующая радиация: обнаружение, контроль, защита / Ю.А. Виноградов. – М.: СОЛОН-Р, 2002. 224 с. – («СОЛОН-Р - радиолюбителям», выпуск 9)

3. «Сцинтилляционный гамма-спектрометр». Методические материалы к дистанционной лабораторной работе / Сост.: Л.И. Виноградов. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, 2008.-28 с.