

# ГЕТЕРОГЕННЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ГАМА-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АЗОСОДЕРЖАЩИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НЕЙТРОННО- РАДИАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

А.А. Юдов\*, Ю.А. Соколов\*, Ю.И. Чернухин\*\*

\* ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина", г. Снежинск

\*\* СФТИ НИЯУ МИФИ, г. Снежинск

**Р**

Обсуждается гетерогенный сцинтилляционный детектор (ГСД), позволяющий повысить чувствительность и надежность обнаружения взрывчатых веществ (ВВ). Детектор представляет собой набор слоев конвертора гамма-излучения и примыкающих к ним слоев сцинтиллятора, детектирующих электроны и позитроны, возникающие в конверторе. Толщины слоев выбраны таким образом, чтобы рождающиеся в конвертирующих слоях заряженные частицы могли быть зарегистрированы в двух и более сцинтилляционных слоях. Представлены результаты расчетов чувствительности обнаружения азотосодержащих ВВ нейтронно-радиационным методом с применением ГСД. Показано, что при соответствующем выборе состава и размеров ГСД чувствительность рассматриваемой методики существенно выше, чем при традиционной постановке подобных измерений с использованием больших NaI(Tl)-детекторов и в перспективе может быть доведена до ~ 100–200 г тротила при времени измерения меньше одной минуты.

**Ключевые слова:** гетерогенный сцинтилляционный детектор, нейтронно-радиационный метод, взрывчатое вещество.

**Key words:** heterogeneous scintillation detector, neutron-radiation method, explosive.

Гетерогенный сцинтилляционный детектор (ГСД) представляет собой многослойную структуру, состоящую из попарно чередующихся слоев конвертирующего материала с высоким порядковым номером  $z > 50$  (например, свинца), в которых  $\gamma$ -кванты трансформируются в поток быстрых заряженных частиц (электронов и позитронов), и примыкающих к ним сцинтиллирующих (сенсорных) слоев, в которых энергия заряженных частиц преобразуется в световые вспышки, регистрируемые фотоприемниками (рис. 1). В качестве сенсорных слоев в ГСД могут использоваться сцинтиллирующие стекловолокна, сцинтиллирующее оптическое волокно из полистирола или тонкие пластины пластического сцинтиллятора (ПС) со спектросмещающими волоконными световодами [1, 2].

© А.А. Юдов, Ю.А. Соколов, Ю.И. Чернухин, 2013

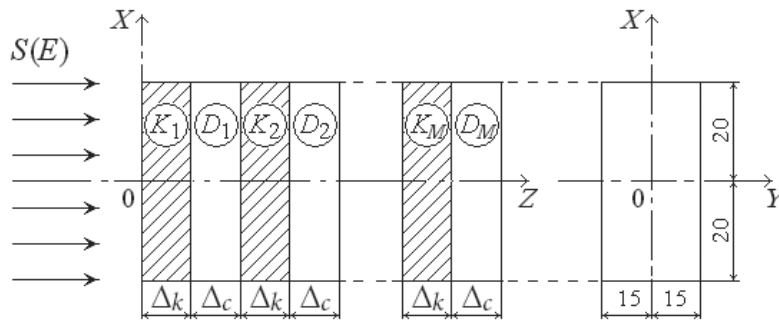


Рис. 1. Схема ГСД:  $K_i$  – конвертирующие слои из свинца ( $Pb$ ,  $\rho = 11,3 \text{ г/см}^3$ ) толщиной  $\Delta_k$ ;  $D_i$  – сенсорные слои из полистирола ( $CH$ ,  $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$ ) толщиной  $\Delta_c$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ ;  $S(E)$  – источник  $\gamma$ -квантов, падающих на входное окно детектора.

Такая конфигурация детектора позволяет совмещать преимущества кристаллических неорганических сцинтилляторов с  $z > 50$  (типа  $NaI$ ,  $CsI$  и др.), обладающих большой эффективностью регистрации  $\gamma$ -квантов, но имеющих, как правило, сравнительно небольшие размеры (с площадью входного окна  $< 400 \text{ см}^2$ ), с преимуществами пластических сцинтилляторов, обладающих сравнительно низкой эффективностью ( $z < 10$ ), но в силу их дешевизны допускающих изготовление детекторов с рекордно большими размерами (с площадью входного окна  $P \sim 1 \text{ м}^2$ ).

Важным качеством ГСД является возможность изменения его спектральной чувствительности, что достигается посредством целенаправленного выбора материалов и толщин слоев, их числа, а также применением схемы совпадений при регистрации сигналов от сенсорных слоев ГСД [1, 2]. Это позволяет создать структуру ГСД, обладающую высокой эффективностью для регистрации жесткого гамма-излучения.

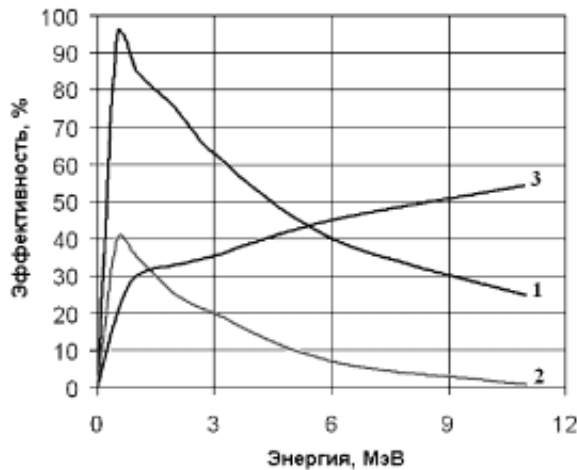


Рис. 2. Эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов сцинтилляционными детекторами трех типов: 1 –  $NaI(Tl)$ ,  $\varnothing 10 \times 10 \text{ см}$  [3]; 2 – ПС (PVT)  $6 \times 36 \times 122 \text{ см}$  [3]; 3 – ГСД,  $8,7 \times 40 \times 30 \text{ см}$  [2]

На рисунке 2 представлена энергетическая зависимость эффективности регистрации гамма-квантов трех сцинтилляционных детекторов:  $NaI$ , ПС и ГСД. У детекторов из  $NaI$  и ПС эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов с ростом их энергии снижается, тогда как у ГСД (15 попарно чередующихся слоев  $Pb$ ,  $\Delta_k = 0,08 \text{ см}$  и полистирола,  $\Delta_c = 0,5 \text{ см}$  [2]) эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов с ростом энер-

гии возрастает. Эта особенность ГСД может быть использована для создания высокоэффективных устройств обнаружения азотосодержащих взрывчатых веществ (ВВ) нейтронно-радиационным методом по регистрации высокоэнергетических  $\gamma$ -квантов ( $E_\gamma = 10,8$  МэВ) реакции радиационного захвата нейтронов на азоте  $^{14}\text{N}(n, \gamma)^{15}\text{N}$ .

Другая отличительная особенность ГСД, важная для применения в таких устройствах, состоит в возможности определения кратности ( $K$ ) регистрации  $\gamma$ -квантов в его сенсорных слоях и, соответственно, селекции спектров регистрируемого  $\gamma$ -излучения по этому признаку при условии использования соответствующих схем совпадений сигналов от каждого из сенсорных слоев. Совпадение сигналов в сенсорных слоях является следствием того, что  $\gamma$ -кванты в зависимости от их энергии  $E$  могут быть зарегистрированы более, чем в одном сенсорном слое ( $K > 1$ ).

В рамках проекта EXPLODET (Explosive Detection)\* [4] был выполнен цикл работ по изучению возможностей поиска закладок ВВ в грунте нейтронно-радиационным методом с использованием NaI-детекторов  $\gamma$ -излучения большого размера и источника нейтронов с изотопом  $^{252}\text{Cf}$  интенсивностью  $I_n \sim 10^7$  н/с [5].

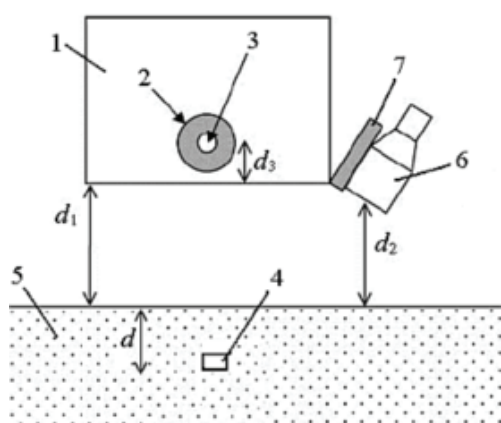


Рис. 3. Схема эксперимента по гуманитарному разминированию [5]

На рисунке 3 представлена схема экспериментов, моделирующих поиск скрытых ВВ в полевых условиях [5]: 1 – излучатель тепловых нейтронов в виде цилиндрического блока из полиэтилена ( $\varnothing 19 \times 26,5$  см), в котором размещена свинцовая сфера 2 размером  $RR$  1,5–4,5 см с изотопным источником нейтронов ( $^{252}\text{Cf}$ ) 3 интенсивностью  $\sim 10^7$  нейтронов на расстоянии  $d_3 = 6,5$  см от нижнего торца излучателя; 4 – имитатор ВВ из меламина весом 800 г, размещенный в грунте 5 на глубине  $d = 10$  см; 6 – сцинтилляционный  $\gamma$ -спектрометр с кристаллом на основе NaI размером  $\varnothing 7,5 \times 7,5$  см, удаленный от поверхности грунта на расстояние  $d_2 = 15$  см и защищенный от  $\gamma$ -квантов излучателя свинцовой плитой 7 толщиной 2 см. Расстояние между излучателем и грунтом в эксперименте равно  $d_1 = 20$  см.

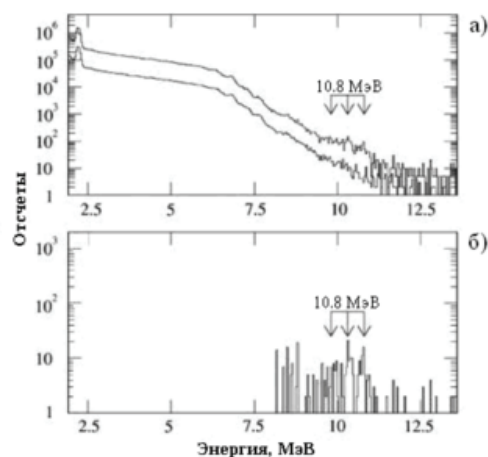


Рис. 4. Аппаратурные спектры гамма-излучения в эксперименте [5]: а) - аппаратный спектр от образца меламина и спектр фона; б) - спектр за вычетом фона; стрелки показывают положение пиков, соответствующих гамма-излучению с энергией 10,8 МэВ

\* Проект EXPLODET ориентирован на решение проблемы так называемого “гуманитарного разминирования” огромного количества противопехотных мин, оставшихся в земле многих стран, где происходили вооруженные конфликты. По оценкам экспертов полное их число превышает 60 миллионов мин, от чего ежегодно погибает около 26 тысяч человек.

Полученные в этих экспериментах типичные аппаратурные спектры  $\gamma$ -излучения представлены на рис. 4.

Как видно из приведенных данных, полезный сигнал на общем фоне незначителен, что ограничивает чувствительность и надежность обнаружения значимых закладок ВВ нейтронно-радиационным методом при использовании NaI-детекторов.

Основной недостаток подобных устройств для обнаружения ВВ обусловлен характеристиками блока детектирования: активация детектора тепловыми нейтронами; высокая чувствительность детектора к мягкому  $\gamma$ -излучению, приводящая к высокой загрузке тракта регистрации; сравнительно низкое временное и энергетическое разрешение, следствием чего является наложение импульсов от  $\gamma$ -квантов, образованных при взаимодействии нейтронов с материалом детектора и окружающей средой, и, в конечном счете, низкое отношение полезного сигнала к фону ( $\sim 10^{-1}$ ) в области энергий  $\gamma$ -квантов 9–11 МэВ. В результате, по оценкам авторов [5], чувствительность обнаружения ВВ при гуманитарном разминировании рассматриваемым методом с применением NaI детектора составит  $\sim 1$  кг за несколько минут измерений, что не позволит обнаруживать противопехотные мины, содержащие ВВ весом  $\sim 40$  граммов. Заметим, что по указанным выше причинам переход к другим широко известным неорганическим сцинтилляционным детекторам, таким как CsI(Tl) и BGO, не изменит эту ситуацию, поскольку их временное и энергетическое разрешение не лучше, чем у NaI-детекторов.

В то же время, применение в рассматриваемом устройстве блока детектирования жесткого  $\gamma$ -излучения на основе гетерогенного сцинтилляционного детектора, слабо чувствительного к фону нейтронов и низкоэнергетичных  $\gamma$ -квантов, позволит повысить мощность используемого источника нейтронов, качественно улучшить отношение полезного сигнала к фону в области энергий  $\gamma$ -квантов 9–11 МэВ и тем самым снизить порог обнаружения ВВ.

Проведенные оценки показали, что замена NaI-детектора  $\gamma$ -излучения в рассматриваемом в [5] устройстве на ГСД со входным окном  $\sim 50 \times 50$  см, состоящего из 10-ти конвертирующих (Pb,  $\Delta_k = 0,015$  см) слоев и, соответственно, 10-ти сенсорных (полистирол,  $\Delta_c = 0,2$  см), с учетом селекции сигналов с кратностью регистрации  $K > 3$  увеличит чувствительность такого устройства для обнаружения ВВ более, чем в  $\sim 100$  раз (табл. 1) при отношении эффект/фон  $\sim 1,5$ .

Таблица 1

**Характеристики обнаружения закладок ВВ нейтронно-радиационным методом с применением детекторов NaI и ГСД**

Детектор	NaI [5]	ГСД
Площадь входного окна, см <sup>2</sup>	44	$2,5 \cdot 10^3$
Интенсивность источника, н/с	$1 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$
Временное разрешение детектора, нс	250	$\sim 30$
Время измерений, с	500	500
Глубина залегания ВВ в грунт, см	10	10 (грунт-SiO <sub>2</sub> )
Кол-во отсчетов детектора, соответствующих "эффекту"	10	$\sim 2,9 \cdot 10^3$
Масса имитатора ВВ, г	800 (меламин)	800 (меламин)

Эффект наложения импульсов, в значительной степени определяющий фон в рассматриваемом устройстве при использовании NaI-детекторов, при применении ГСД практически исключается выбором достаточно узкого временного окна схемы совпадений, используемой для селекции регистрируемых сигналов по параметру  $K$ . Отметим также и такое важное обстоятельство, что ГСД со схемами совпадений в рассматриваемом устройстве работает в более простом (счетном) режиме, а не в режиме амплитудного анализа импульсов в случае использования в нем NaI-детекторов.

В перспективе чувствительность рассматриваемой методики обнаружения закладок ВВ при соответствующем выборе источника нейтронов и дальнейшей оптимизации состава ГСД может быть доведена до  $\sim 100\text{--}200$  г тротила при времени измерений меньше одной минуты.

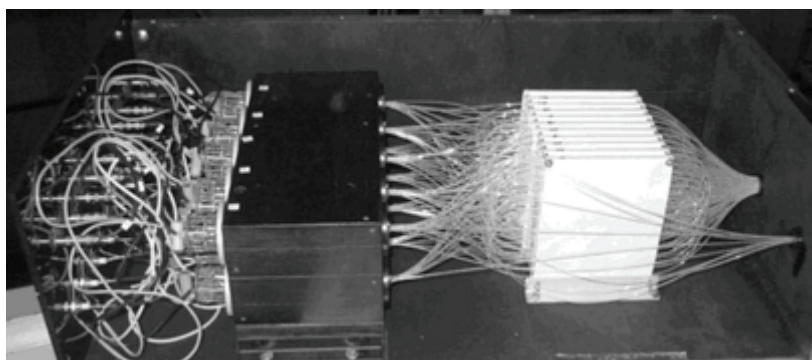


Рис. 5. Внешний вид модели гетерогенного сцинтилляционного детектора

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИТФ имеется модель ГСД (рис. 5), изготовленная в ГНЦ ИФВЭ (г. Протвино). Она представляет собой блок пластиковых сцинтилляторов, набранный из 10-ти пластин, каждая из которых имеет размер  $100 \times 120 \times 5$  мм. В пластине имеется по шесть канавок с каждой стороны глубиной 2,5 мм, шириной 1,1 мм, в которые при сборке укладываются переизлучающие WLS- (Wavelength Shifting) волокна (по три волокна в пластину). Светосбор с пластин из пластиковых сцинтилляторов осуществляется переизлучающими волокнами. Концы волокон, выходящие из каждой пластины, собраны в жгут и подсоединены к отдельному ФЭУ-85. Концы волокон, выходящие из блока (10 пластин), подсоединены к общему ФЭУ-85.

Каждая пластина детектора обернута светоотражающим покрытием. Выбор отражающего покрытия играет важную роль для увеличения светосбора. В изготовленном приборе в качестве покрытия использована офисная бумага, имеющая коэффициент отражения 77%.

Волоконный съем света из сцинтиллятора допускает, в отличие от традиционного метода, использующего пластиковые сцинтилляторы в прямом оптическом контакте с ФЭУ, переносить характеристики конкретного детектора на детектор любых размеров и конфигурации (ограниченных только прозрачностью волокна) без каких-либо поправок на его параметры.

В качестве примера на рис. 6 приведены расчетные энергетические зависимости вероятностей  $K$ -кратной регистрации  $\gamma$ -квантов  $W^{(K)}(E)$  для двух моделей детекторов: ГСД-7 ( $\Delta_k = 0,08$  см,  $\Delta_c = 0,5$  см,  $M = 15$ ,  $\varepsilon_{\text{пор}} = 0,2$  МэВ) и ГСД-8 ( $\Delta_k = 0$  см,  $\Delta_c = 0,5$  см,  $M = 10$ ,  $\varepsilon_{\text{пор}} = 0,2$  МэВ) [2] и соответствующие зависимости эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов в этих детекторах

$$W_D(E) = \sum_K W^{(K)}(E)$$

при пороговом значении поглощенной в их сенсорных слоях энергии  $\varepsilon_{\text{пор}} = 0,2$  МэВ.

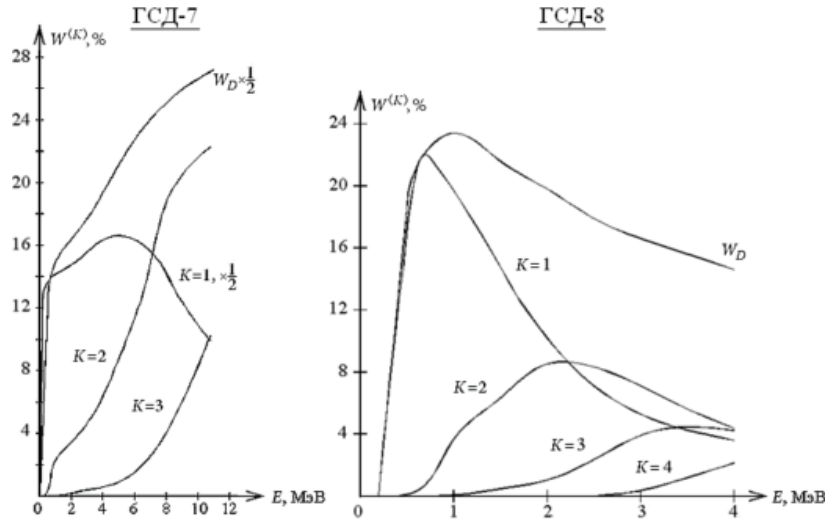


Рис. 6. Энергетические зависимости вероятностей  $K$ -кратной регистрации  $\gamma$ -квантов детекторов ГСД-7 и ГСД-8

Из рисунка 6 следует, что зависимости  $W^{(K)}(E)$ ,  $K = 1, 2, 3 \dots$  у ГСД носят существенно различный характер: максимумы вероятностей  $K$ -кратной регистрации с ростом параметра  $K$  сдвигаются в область все более высоких энергий  $E$ , что и является основой селекции  $\gamma$ -квантов с помощью ГСД по кратности их регистрации в его сенсорных слоях.

Для ГСД со сравнительно толстыми конвертирующими слоями ( $\text{Pb}$ ,  $D_k \sim 0,1$  см) основной вклад в эффективность детектора при  $E < 10$  МэВ вносят акты с кратностью регистрации  $K \leq 3$ , при этом роль событий с  $K \geq 4$  можно считать пренебрежимо малой. С уменьшением толщины конвертирующих слоев и увеличением энергии  $\gamma$ -квантов роль событий с кратностями регистрации более высокого порядка существенно возрастает.

Выделение событий  $K$ -кратной регистрации  $\gamma$ -квантов в ГСД и последующая селекция  $\gamma$ -источников различного спектрального состава по соотношениям между ними может быть проведена с помощью широко используемых в экспериментальной технике схем совпадений сигналов от каждого сенсорного слоя. Однако для моделей, в которых доля четырех- (и более) кратной регистрации  $\gamma$ -квантов пренебрежимо мала, эта задача может быть решена более простыми средствами. Как отмечено в [2], в этом случае имеет место соотношение

$$R = \frac{W^{(1)} - W^{(3)}}{W^{(2)} + 2W^{(3)}} \cong \frac{2 - K}{\bar{K} - 1} \quad (1)$$

где

$$K = W_D^{-1} \sum_K K W^{(K)} = W_D^{-1} \sum_{i=1}^M W_i \quad (2)$$

– средняя кратность регистрации  $\gamma$ -квантов исследуемого спектра;  
 $W_i$  – вероятность их регистрации в  $i$ -ом сенсорном слое.



Согласно (2), величина  $\bar{K}$  и, следовательно, параметр  $R$  могут быть найдены по результатам измерений счетности суммирующего регистратора сигналов со всех сенсорных слоев ГСД ( $W_D$ ) и измерений счетности сигналов от каждого сенсорного слоя  $W_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$  без применения схем совпадений.

В таблице 2 приведены расчетные величины  $W_X^{(K)}$ ,  $K = 1, 2, 3$  для модели детектора ГСД-7 при регистрации  $\gamma$ -квантов радиационного захвата тепловых нейтронов ( $n, \gamma$ ) на водороде (H), азоте (N), железе (Fe) и никеле (Ni), найденные по соотношению

$$W_X^{(K)} = \int W_{\text{ГСД}}^{(K)}(E) \Psi_X(E) dE, \quad (3)$$

где  $X$  – индекс ( $n, \gamma$ )-реакции, а  $\Psi_X(E)$  – нормированный на единицу спектр рождаемых в ней  $\gamma$ -квантов, и соответствующие им значения параметров  $W_{D,X}$ ,  $\bar{K}_X$ ,  $R_X$ .

В вычислениях по формулам (1)–(3) функции  $\Psi_X(E)$  принимались в соответствии со справочными данными [6], а функции  $W_{\text{ГСД}}^{(K)}(E)$  – в соответствии с данными, приведенными на рис. 6 для ГСД-7.

Таблица 2

**Расчетные характеристики регистрации  $\gamma$ -квантов радиационного захвата тепловых нейтронов на водороде, азоте, железе и никеле детектором ГСД-7.**

$\gamma$ -источник ( $X$ )	$W_X^{(K)}, \%$			$W_{D,X}, \%$	$\bar{K}_X$	$R_X$
	$K=1$	$K=2$	$K=3$			
H( $n, \gamma$ )	14,9	3,5	0,2	18,6	1,21	3,77
N( $n, \gamma$ )	15,6	9,19	1,59	26,4	1,47	1,13
Fe( $n, \gamma$ )	12,9	9,40	1,65	24,0	1,53	0,89
Ni( $n, \gamma$ )	10,6	12,9	2,95	26,5	1,71	0,41

$W_X^{(K)}$

Из приведенных в таблице данных следует, что наиболее надежным признаком идентификации с помощью ГСД рассматриваемых  $\gamma$ -источников является соотношение между одно-, двух- и трехкратными актами регистрации  $\gamma$ -квантов в его сенсорных слоях, характеризуемое параметром  $R$ . Отличия в других параметрах ( $W_D$  – соответственно эффективности и средней кратности регистрации) сравнительно невелики.

В то же время найденные параметры  $R$  рассматриваемых ( $n, \gamma$ )-реакций существенно различаются между собой. Наиболее близкими среди них являются параметры  $R$  для реакций радиационного захвата нейтронов на азоте и железе: для этой пары  $\gamma$ -источников различие параметров  $R$  составило  $\sim 25\%$ , что при умеренной точности измерений ( $2\sigma \sim 10\%$ ) позволит их надежно идентифицировать.

Проведенный анализ показывает, что селекция  $\gamma$ -квантов по кратности регистрации в ГСД является достаточно эффективным средством различения  $\gamma$ -источников по спектральному признаку. Этот фактор наряду с высокой чувствительностью ГСД ( $\sim W_D \cdot P$ ) делает такие детекторы перспективными для решения задачи обнаружения ВВ нейтронно-радиационным методом.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Гетерогенный сцинтилляционный детектор (ГСД) открывает широкие возможности для изменения его спектральной чувствительности применительно к решаемым задачам и достижения других качественных показателей, во многом превы-

шающих соответствующие показатели традиционных сцинтилляционных детекторов [1, 2].

Уникальной особенностью ГСД является возможность определения кратности ( $K$ ) регистрации  $\gamma$ -квантов в сенсорных слоях и связанная с этим возможность их селекции по энергии. Она является следствием того, что  $\gamma$ -квант в зависимости от его энергии может быть зарегистрирован более чем в одном сенсорном слое ( $K > 1$ ).

Отмечено, что селекция  $\gamma$ -квантов по кратности регистрации в ГСД является достаточно эффективным средством различения  $\gamma$ -источников по спектральному признаку.

Указанные факторы ведут к повышению отношения эффект/фон при измерениях с ГСД, что делает такие детекторы перспективными для использования в разнообразных детектирующих устройствах, предназначенных для регистрации  $\gamma$ -квантов.

Показано, что одним из практически важных приложений ГСД может стать их применение в ядерно-физических методиках обнаружения азотосодержащих ВВ, основанных на регистрации высокоэнергетического  $\gamma$ -излучения ( $E > 10$  МэВ), в частности, в нейтронно-радиационной методике [4–6].

### **Литература**

1. Терехин В.А. Гетерогенный сцинтилляционный детектор гамма-излучений / В. А. Терехин, Ю. И. Чернухин, С. И. Стрельцов // Атомная энергия. – 2006. – Т. 101, вып. 2. – С. 130–135.
2. Чернухин Ю. И. Гетерогенный сцинтилляционный детектор гамма-излучения с регулируемой спектральной чувствительностью / Ю. И. Чернухин, В. А. Терехин, С. И. Стрельцов // Атомная энергия. – 2011. – Т. 111, вып. 3. – С. 169–171.
3. Siciliano E.R., Ely J.H., Kouzes R.T. Comparison of PVT and Nai(Tl) Scintillator for Vehicle Portal Monitor Applications. – Nuclear Instruments and Methods, A 550 (2005). P. 647–674.
4. Viesti G. et al. The EXPLODET project: Advanced Nuclear Techniques for Humanitarian De-mining. – Nuclear Instruments and Methods, A422, (1999). P. 918–921.
5. Cinausero M., Deak F., Fabris D. et al. Characterization of a Gamma Spectroscopy Tool for Humanitarian De-mining. – Interciencia, v. 26, №3, (2001). P. 117–121.
6. Гумма В.И., Демидов А.М. и др. Нейтронно-радиационный анализ. – М.: Энергоатомиздат. 1984.

Поступила в редакцию 26.11.2012



References, 3 titles.

The possibility of increasing in  $^{99}\text{Mo}$  production with WWR-c reactor core and uranium-containing targets modernization have been discussed in this paper. We found that there is a large possibility of  $^{99}\text{Mo}$  production increasing.

#### **УДК 577.34**

*Study of the Dependence of Fluctuating Asymmetry in Plants of the Size of Radioactive Contamination | Gorshkova T.A., Churyukin R.S., Karaguzova O.A., Amosova N.V., Pavlova N.N., Martirosyan Y.M., Vlasova O.P., Simakova I.M.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 9 tables. – References, 11 titles.*

The article is devoted investigation of the dependence fluctuating asymmetry of leaves of three plant species of background radiation and activity of radioactive cesium in the Ulyanovsk region, contaminated by the Chernobyl accident. A correlation analysis found a similar reaction of plants in the contaminated area. This suggests that the studied species can be used for biological indication of this type of anthropogenic environmental changes.

#### **УДК 539.1.074.3**

*Nitrogenous Explosives Detection by Neutron-Radiation Method Using Gamma Radiation Heterogeneous Scintillation Detector | Yudov A.A., Sokolov Yu.A., Chernukhin Yu.I.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 8 pages, 2 tables, 6 illustrations. – References, 6 titles.*

This paper describes a heterogeneous scintillation detector (HSD) which can increase the sensitivity and reliability of explosives (HE) detection. The HSD consists of alternating layers of converting material where gamma quanta transform into electrons and positrons, and of detecting material where the energy of charged particles is transformed into light scintillations. Spectral sensitivity of the HSD can be varied by selecting thickness and number of layers. Thickness of the layers can be chosen so that charged particles which created in the converting layers can be registered in two or more scintillation layers. The calculations results of detection sensitivity of nitrogenous explosives by neutron-radiation method using HSD was presented. It was shown that the sensitivity of the described method using an optimal HSD would be significantly higher than in the traditional formulation of such measurements using large NaI (Tl) detectors, and in the future can be reduced to ~ 100 – 200 grams of TNT at the time of measurement less than one minute.

#### **УДК 621.039.52:615.849.1**

*Modeling of Hyperthermia at Stabilizing Percutaneous Vertebroplasty | N.K. Voznesensky, N.V. Bogdanov, S.L. Dorokhov, Yu.G. Zabaryansky, Eu.S. Matusevich, Yu.A. Kurachenko, V.A. Levchenko, Yu.S. Mardynsky, N.N. Voznesenskaya; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 11 pages, 9 tables, 9 illustrations. – References, 20 titles.*

For modelling of the local irradiation and hyperthermia synergetic at the radionuclide vertebroplasty, the study of the temperature fields caused by bone cement polymerization is carried out. Two groups of experiments involving the non-stationary temperatures distribution measurements were done, namely, the cement polymerization a) in the isolated cuvette, and b) in a vertebra. For experiments numerical modeling, the 3D non-stationary KANAL code applied in thermohydraulics of nuclear power installations is adapted. The consistency of measured data and simulated ones is obtained for temperature distributions, the spatial and time-dependent as well. The most important is the closeness in experimental and simulating temperature maximum value at cement polymerization in a vertebra. The executed study grants the theoretical support of vertebroplasty in two aspects: a) by providing with the developed calculation techniques, and b) by estimating the curative effect because of the bone tissue heating.