

УДК 539.51

КОНЦЕПЦИЯ РАДИАЦИОННОГО ПОРТАЛЬНОГО МОНИТОРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.Н. Дубина, В.Е. Ковтун

Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина

Украина, Харьков, пл. Свободы, 4

kovtun@pht.univer.kharkov.ua

Поступила в редакцию 5 декабря 2008 г.

Радиационные портальные мониторы на основе пластмассовых сцинтилляторов являются широко используемой разновидностью пассивных, относительно дешёвых детекторов, необходимых для обеспечения нераспространения ядерных и радиоактивных материалов и устанавливаемых в точках контроля (на границе, в аэропортах, железнодорожных переездах и т.п.). Чувствительность современных мониторов к γ -излучению достаточно высокая. Но главная проблема состоит в ложных срабатываниях за счёт флуктуаций естественного радиоактивного фона окружающей среды и груза. Это не позволяет однозначно идентифицировать в грузе наличие замаскированного источника. Основная предлагаемая идея данной работы состоит в использовании метода электронной коллимации для локализации источника в пространстве, что означает существенное подавление фона. Поскольку фон удаётся подавить, а источник идентифицировать, то можно увеличить площадь детектора, и добиться, таким образом, высокой чувствительности при очень малых уровнях минимально детектируемой активности (МДА). Совокупность таких качеств, как использование пластмассового сцинтиллятора большой площади и возможность существенно подавить фон, делает радиационный портальный монитор с большой светосилой действительно детектором нового поколения. Обсуждаются принципиальные особенности конструкции и системы обработки и сбора данных (DAQ). При этом учитывается предыдущий опыт, полученный при разработке мюонных детекторов большой площади для установки CDF II (FERMILAB). Представлены результаты расчётов методом Монте-Карло (Geant 4) и обработки (ROOT5).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ядерный терроризм, специальные ядерные материалы, радиационный портальный монитор, электронная коллимация, время-пролётная методика, подавление фона, метод совпадений, пластмассовый сцинтиллятор.

Детектирование делящихся веществ и радиоактивных материалов при незаконном их трафике является в последние годы объектом интенсивных исследований.

Одним из этапов противодействия ядерному и радиационному терроризму является радиационный контроль на границе с помощью стационарных радиационных портальных мониторов (RPM) – пассивных систем детектирования радиоактивных веществ и ядерных материалов по их γ - и n - излучению. В отличие от активных систем, которые воздействуют на груз первичным излучением (мощные радиоактивные источники, ускорители, нейтронные генераторы), RPM несоизмеримо дешевле, широко распространены, не требуют значительного обслуживания. Их основная роль – первичная инспекция при массовом скрининге. В настоящее время ведущие мировые фирмы в области радиационного контроля, национальные лаборатории, университеты уделяют большое внимание совершенствованию и улучшению параметров радиационных мониторов. Речь идёт о создании высокоэффективного портального монитора нового поколения, способного с высокой степенью надёжности обнаруживать присутствие спрятанных радиоактивных материалов. Надо отметить, что прогресс в этой специфической области детектирования радиоактивных материалов существенно зависит не только от улучшения параметров мониторов, но и от стоимости готового изделия.

В работе рассматривается возможность метода электронной коллимации применительно к портальному монитору для существенного подавления фона окружающей среды. Ключевая идея данного подхода состоит в использовании в ангеровской части детектирующей системы детектора с низким Z (пластмассового сцинтиллятора), что резко удешевляет конструкцию даже при значительных размерах площади детекторов. Предлагаемый метод не требует достаточно точного координатного разрешения всей системы, как это принято, например, в детекторах для гамма-астрономии. Требуется только локализация радиоактивного источника на фоне равномерно распределённого в пространстве излучения от источников окружающей среды.

Конструкция такого монитора состоит из двух идентичных детекторов, каждый из которых имеет модульную координатную годоскопическую структуру для определения места энерговыделения рассеянных гамма-квантов. Реализация может быть различной: как с использованием традиционных ФЭУ, так и фотоприёмников нового поколения типа кремниевых твердотельных фотоумножителей. Данный подход приводит к существенному изменению системы сбора и обработки данных (DAQ).

Целью данной работы является обоснование концепции электронной коллимации RPM на основе пластмассового сцинтиллятора. Приводятся расчёты методом Монте-Карло, обосновывающие принятые решения, а также связанные с этим обсуждения конструкции детекторов.

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕЗАКОННОГО ТРАФИКА РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Согласно исследованиям МАГАТЭ [1], существенную опасность сегодня представляет незаконная

торговля ядерними матеріалами і радіоактивними джерелами, а також їх незаконні перевезки. Такі матеріали можна розділити на: 1) ядерні спеціальні матеріали (SNM), використовувані при виробництві ядерної зброї, і 2) радіоактивні джерела промислового і медичного обладнання (RDDs), які, будучи вивіреними, з нормальною вибуховою, забезпечать суттєве радіоактивне забруднення.

Радіоактивні матеріали для так званих «брудних бомб» більш численні і достатньо небезпечні, приймаючи до уваги, що отримання дози облучення можливо практично від будь-якого джерела.

Виявлювані радіонукліди можна розділити на наступні групи:

Таблиця 1. Класифікація радіонуклідів при контролі RPM

Назва радіонуклідів	Обозначення
Спеціальні ядерні матеріали (SNM)	^{233}U , ^{235}U , ^{237}Np , ^{239}Pu , обеднений U, природний U, обогаченний U, реакторний Pu, збройний Pu
Підозрювані	^{232}U , ^{238}U , ^{238}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am
Естественная радиация (NORM)	^{40}K , ^{138}La , ^{226}Ra і дочірні продукти розпаду, ^{232}Th і дочірні продукти розпаду, ^{238}U і дочірні продукти розпаду
Медицинські	^{18}F , ^{51}Cr , ^{67}Ga , ^{75}Se , ^{89}Sr , ^{99}Mo , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{103}Pd , ^{111}In , ^{123}I , ^{125}I , ^{131}I , ^{131}Cs , ^{153}Sm , ^{201}Tl , ^{133}Xe
Промислові	^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{226}Ra , ^{204}Tl , ^{241}Am , ^{75}Se

Ядерні матеріали на основі урану і плутонію достатньо різноманітні, їх детальний склад залежить від заводу-виробника і, в основному, захищений. Однак, з точки зору їх виявлення, існує наступна класифікація [2-3]. Спеціальні ядерні матеріали (SNM) поділяються на: високообогачений уран (HEU), збройний плутоній (WGpu), реакторний плутоній (Reactor grade Pu).

Таблиця 2. Високообогачений уран (HEU)

Ізотоп	Масове вміст	E_{γ}		I_{γ}	I_n
		кВ	%		
	%	кВ	%	$\gamma/\text{г}$	$n/\text{г}$
^{235}U	93,3	185,7	53	$4,3 \cdot 10^4$	$\sim 0,0006$
^{235}U	93,3	185,7	~ 100	39	$\sim 0,01$
		1001,0		101	
^{234}U	1				
other	0,2				

Таблиця 3. Збройний плутоній (WGpu)

Ізотоп	Масове вміст	E_{γ}		I_{γ}	I_n
		кВ	%		
	%	кВ	%	$\gamma/\text{г}$	$n/\text{г}$
^{239}Pu	94,0	375,0÷414,0 (ROI)		$3,4 \cdot 10^4$	1020
^{240}Pu	6,0	640,0 (ROI)			
^{241}Am	слідові кількості				
^{237}U					

Таблиця 4. Реакторний плутоній (Reactor grade Pu)

Ізотоп	Масове вміст	E_{γ}		I_{γ}	I_n
		кВ	%		
	%	кВ	%	$\gamma/\text{г}$	$n/\text{г}$
^{239}Pu	$\sim 80,0$	375,0÷414,0 (ROI)		$3,4 \cdot 10^4$	1020
^{240}Pu	$\sim 20,0$	640,0 (ROI)			
значительное количество других изотопов					

Требования, предъявляемые к стандартному портальному монитору

Виявлення незаконних перевезок ядерних матеріалів ґрунтується на встановці в стратегічних точках на межі, в аеропортах, морських портах радіаційних портальних моніторів, які неперервно реєструють швидкість лічби γ - і n - випромінювань від проходять пасажирів, автомобілів, контейнерів і т.п. Інструментарій для виявлення повинен характеризуватися великою чутливістю до виявлення низької активності на рівні естественного радіоактивного фону в часі декількох секунд (швидкість проїзду транспорту не вище 8 км/ч, рис.1.).



Рис.1. Портальный радиационный монитор для контроля контейнеров

Согласно (1), наименьшая величина MDA получается с детекторами большой площади.

Согласно, например, стандарту ANSI N42.38 [4] порталные мониторы должны иметь следующий уровень регистрации определённых радионуклидов (таблица 5).

Одним из важнейших параметров, позволяющих сравнивать различные конструкции радиационных мониторов, является минимально обнаружимая активность (MDA) радиоактивного вещества (изотопа). Для каждого изотопа и для различных геометрических условий существует соответствующий уровень MDA. Величина MDA вычисляется следующим образом [5].

$$MDA(Bq) = \frac{N_1 \cdot \sqrt{(B_1 + B_2)} + N_2 \cdot \sqrt{(B_1 + B_2)}}{S_i} \quad (1)$$

где N_1 – коэффициент не детектирования, N_2 – коэффициент ложных срабатываний, B_1 – число фоновых отсчётов за время измерения, B_2 – число отсчётов источника за время измерения, S_i – чувствительность детектора к соответствующему изотопу i (число отсчётов/(с·Bq)).

Таблица 5. Требования к регистрации радионуклидов стандартным монитором

Радионуклид	Активность (мкКи) (без пассивной защиты)	Активность (мкКи) (защита: Fe –3 см)	Активность (мкКи) (защита: полиметилметакрилат)	Примечание
²⁴¹ Am	47	—	—	
¹³³ Ba	9	148	—	идентификация
¹³³ Ba	14	—	—	детектирование
⁵⁷ Co	15	—	—	идентификация
⁵⁷ Co	5	—	—	детектирование
⁶⁰ Co	7	25	—	
¹³⁷ Cs	16	85	—	
DU	4,5 кг	—	—	Излучение регистрируется с площади 46 см ²
⁶⁷ Ga	16	—	94	
HEU	237 г	—	—	Излучение регистрируется с площади 6,5 см ²
¹³¹ I	10	—	23	
¹⁹² Ir	6	61	—	
⁴⁰ K	128	—	—	
²³⁷ Np	90 мг	—	—	защита: 1 см Fe
^{99m} Tc	16	—	127	
²⁰¹ Tl	10	—	88	
²²⁶ Ra	8	—	—	
²³² Th	14	—	—	
RGPu	1,4 г	—	—	защита: 1 см Fe
WGPu	15 г	—	—	защита: 1 см Fe
²⁵² Cf	2x10 ⁴ нейтронов/с	—	—	± 20%

Конструкция стандартного монитора

Стандартные конструкции мониторов (пешеходные, транспортные, контейнерные, багажные и т.п.) должны удовлетворять требованиям и рекомендациям, изложенным в публикациях МАГАТЭ [2,3] и в национальных стандартах [4,6-8]. Внутри портала находится два типа детекторов: гамма-детектор (сцинтиллирующая пластмасса или щёлочно-галогидные кристаллы) и нейтронный детектор (³He счетчики). Основные электронные блоки показаны на рис. 2.

В настоящее время детекторы большой площади конструируются, главным образом, на основе пластмассовых сцинтилляторов (полистирола – PS или поливинилтолуола – PVT).

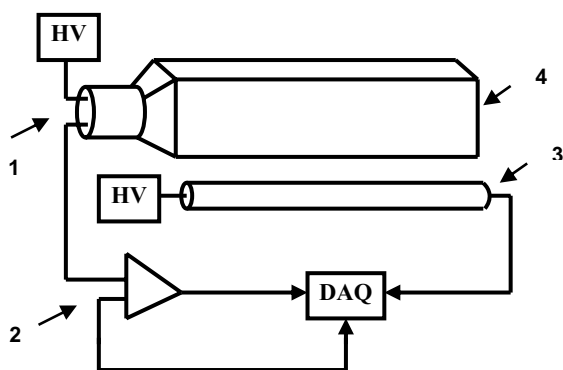


Рис.2. Конструкція гамма-детектора стандартного радіаційного порталного монітора.

1-фотоумножитель (ФЭУ), 2-дискриминатор с управляемым амплитудным порогом, 3-нейтронный детектор, 4-гамма-детектор, HV-высоковольтные источники питания, DAQ-система сбора, обработки данных и выработки сигнала «тревога».

радионуклида. По всей видимости, только с применением пластмассового сцинтиллятора большой площади можно сконструировать портал, обладающий максимальной светосилой. Однако увеличение площади (и, соответственно, объёма) детектора приводит к значительному увеличению скорости счёта от фона естественной радиоактивности окружающей среды.

Стандартный монитор регистрирует превышение скорости счёта над фоном в нескольких энергетических диапазонах («окнах»). Изменение уровня фона с течением времени позволяет корректировать скорость счёта в этих энергетических окнах. Если скорость счёта находится в пределах заданной погрешности измерения, то наличие источника определить точно не представляется возможным.

Порог дискриминатора устанавливается так, чтобы происходила регистрация гамма линии ^{241}Am (60 кэВ) согласно таблице 5, что соответствует ориентировочно 20÷30 мВ.

Обязательными параметрами для радиационных мониторов являются: наличие двух независимых каналов регистрации гамма и нейтронного излучения; высокая чувствительность к γ -, n - излучениям; низкий порог обнаружения; регулируемость порога срабатывания; минимальное значение средней частоты ложных срабатываний; быстродействие; надёжность; простота эксплуатации; автоматический вывод результатов; наличие сигнализации. Соответствующие программы позволяют отслеживать изменение фона и калибруют зависимость чувствительности детекторов от времени.

В общем случае, радиационные порталные мониторы, изготовленные на основе пластмассового сцинтиллятора и имеющие низкое энергетическое разрешение, обеспечивают первичную диагностику, т.е. определяют некоторый уровень присутствия радиоактивных материалов. Следующая фаза – детальный анализ полученной информации с помощью полупроводниковых или сцинтилляционных спектрометров. Большинство проблем на этом этапе обусловлено ложными срабатываниями портала, связанными с повышенным уровнем природных радионуклидов окружающей среды.

Для подтверждения или идентификации присутствия повышенной радиации требуется, чтобы квалифицированный служащий с помощью переносного анализатора импульсов обследовал груз и выявил причину срабатывания сигнала «тревога». Опыт последних лет показал [1], что примерно, 90% ложных срабатываний сигнала «тревога» в аэропортах обусловлено присутствием медицинских изотопов в теле самих пассажиров. Такое же количество ложных срабатываний коммерческих грузов обусловлено превышением над установленным порогом скорости счёта из-за повышенной естественной радиоактивности самого груза. Таким образом, в общем случае, пассивные методы диагностики грузов не дают полной гарантии детектирования незаконных ядерных материалов и радионуклидов, не говоря уже о нареканиях таможенных служб, в связи с ложными тревогами и уменьшением пропускной способности точек контроля.

В методическом плане требуется существенно уменьшить количество этих вторичных инспекций за счёт совершенствования технологии обнаружения радиоактивных материалов. Активные методы инспекции во много раз дороже и также далеки от совершенства, но и при их применении требуются высокоэффективные детектирующие системы большой площади типа RPM.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОРТАЛЬНЫХ МОНИТОРОВ

Коммерческие фирмы, национальные физические лаборатории, университеты многих стран мира уделяют большое внимание разработке и совершенствованию радиационных мониторов, стараясь использовать инновационные идеи и новые подходы. Инициаторами выступают, как правило, различные ведомства США [11], финансируя многочисленные гранты (R&D), в том числе и достаточно экзотические. Например, проект по радиографии контейнеров космическими лучами [12]. Задача состоит в измерении координатной системой

отклонений проходящих через контейнер мюонов за счёт многократного кулоновского рассеяния на содержимом контейнере. При этом предполагается, что маскируемый источник обладает большим Z . В конечном счёте, все исследования сводятся к выбору экономически обоснованных решений.

Традиционные подходы и оптимизация конструкций RPM

Область чувствительности стандартного порталного монитора практически одинакова во всех направлениях и определяется формой сцинтиллятора. Фирма Canberra [13] развивает узкоспециализированные мониторы для поиска SNM. Так, для увеличения чувствительности в направлении на объект исследования, применяется пассивная защита (Pb, Fe). Например, для регистрации гамма-излучения высокообогащённого урана или плутония лучше подходит экранированный от естественного излучения окружающей среды монитор на основе пластмассового сцинтиллятора большой площади. Это позволяет регистрировать излучение с избранного направления. В этом случае сцинтиллятор должен быть окружён с трёх сторон свинцом для уменьшения фона и улучшения чувствительности монитора. Выделяют две причины, по которым пластмассовый сцинтиллятор предпочтительнее для регистрации экранированного плутония, чем детектор на основе NaI(Tl). Первый эффективен при регистрации быстрых нейтронов и мгновенных гамма-квантов деления, которые проходят через защиту. Кроме того, детектором из пластмассового сцинтиллятора можно перекрыть большую площадь, чем равным по стоимости детектором из NaI(Tl).

Фирма SAIC Exploranium [14] разрабатывает порталные мониторы с автоматической системой режекции от естественной радиоактивности окружающей среды (NORM) для повышения чувствительности монитора. Т.е. порог регистрации фона постоянно подстраивается под существующий в данный момент уровень, который определяется естественной радиоактивностью с учётом «знания» излучения от измеряемого объекта.

В Pacific Northwest National Laboratory (PNNL, USA) [15] разрабатываются новые подходы к использованию детекторов с пластмассовым сцинтиллятором большой площади. Проект ALPS (Advanced Large-Area Plastic Scintillator) посвящён изучению возможностей существующих конструкций мониторов путём оптимизации светосбора, улучшения конструкции, совершенствования электронных систем и математических алгоритмов обработки сигналов с ФЭУ. Учитывая проблему низкого энергетического разрешения и связанную с этим значительные флуктуации порога и ширины энергетических окон, рассматриваются длинномерные конструкции с несколькими ФЭУ («doble-ended» scintillator). Корректировка амплитуды сигнала происходит за счёт вычисления точки взаимодействия гамма-кванта и учёта длины затухания (TAL) излучения вдоль сцинтиллятора.

С другой стороны, развиваются новые, инновационные идеи. Например, используя время-пролётную методику с малой геометрической базой, можно существенно подавить фон гамма-квантов при регистрации быстрых нейтронов. Другими словами, для этого требуется пластмассовый сцинтиллятор со «сверхбыстрым» высвечиванием, что было бы идеальным решением для подобных конструкций [15]. Авторы этой работы рассмотрели свойства всех доступных пластмассовых сцинтилляторов (NE, Bicron, Amcrus и др.), но по временным характеристикам они оказались практически одинаковыми, и такая красивая идея пока не может быть осуществлена.

По государственной программе DoE (США) The Department of Homeland Security [16] ряд организаций (университеты и коммерческие структуры) развивают «спектроскопический порталный монитор» (ASP), позволяющий идентифицировать по спектру радиоактивные изотопы и ядерные материалы в условиях фона окружающей среды. В качестве детекторов гамма-квантов рассматриваются щёлочно-галогидные кристаллы или полупроводниковые детекторы. С 2005 г. проводятся тестирования порталов в Nevada Test Site [17].

Порталы окружены пассивной защитой, а встроенная программа предполагает поиск слабого излучения по ряду признаков (по их характерной сигнатуре: энергетическим и временным спектрам гамма-квантов и нейтронов) на уровне фона с учётом непрерывной калибровки и тестирования детекторов. Встроенные компьютерные программы обладают базой данных «спектральных образов» и «счётных образов» движущихся транспортных средств и многочисленной системой алгоритмов идентификации изотопов.

Хороший способ увеличить чувствительность радиационных мониторов состоит как в увеличении геометрических размеров детекторов (сцинтилляционного канала), так и количества детекторов (нейтронных счётчиков). Но при этом также значительно возрастает фон от естественной радиоактивности окружающей среды. Группа из Los Alamos National Laboratory, (LANL, USA) [12] предложила использовать для этих целей большой объём жидкого сцинтиллятора, просматриваемый большим количеством ФЭУ. При регистрации быстрых нейтронов чувствительность увеличивается почти на два порядка. При регистрации гамма-квантов удаётся резко повысить отношение пик/комpton и эффективность фотопоглощения. Такой тип портала также предлагается использовать и при активных методах поиска SNM, например, там, где вторичное излучение представляет собой как раз гамма-кванты и нейтроны больших энергий.

Группа исследователей из Lawrence Livermore National Laboratory, (LLNL, USA) [10] провела тестирование прототипа детектора большой площади с визуализацией источников для удалённого их обнаружения. В традиционных детекторах направление на источник определяется по увеличению скорости счёта. При низких интенсивностях на уровне фона такой подход приводит к большому количеству ложных срабатываний. В экспериментах использовалась однокоординатная система детекторов NaJ(Tl) и система коллиматоров. Для

распознавания объекта использовался метод кодирования. В этом случае вариации фона ассоциируются с источником большой площади, а источник низкой интенсивности в отличие от фона – локализован.

Программный код идентификации ядерных материалов (NMIS) [18] разрабатывается Oak Ridge National Laboratory (USA) для on-line определения изотопов различными детекторами. Используются спектры в сцинтилляционных детекторах, форма импульса (в каналах Flash ADC), дискриминация по форме импульса (PSD) для жидкого сцинтиллятора, совпадения с нейтронным каналом, совпадения нескольких детекторов, геометрия детектора и условия измерения, и другие многочисленные прямые и косвенные признаки идентификации изотопов ядерных материалов.

В Lawrence Livermore National Laboratory, (LLNL, USA) [19] выявляются характерные радиационные образы объектов идентификации SNM, которые можно применить в работе RPM.

Использование принципов электронной коллимации

Сотрудничество университетов, Argonne National Laboratory, Naval Research Laboratory, фирмы AMETEC/ORTEC привело к созданию гамма детектора на основе Ge или CdZnTe (CZT), позволяющего определять направление прихода гамма-кванта по «комптоновским кольцам» (ещё используется термины «электронная коллимация», комптоновская 2D, 3D техника). Пересечение трёх и более конусов в пространстве позволяет локализовать источник излучения. Метод наилучшим образом работает при энергиях > 1 MeV, где доминирует комптоновское рассеяние. На этой основе развивается метод «гамма-детектора с электронной коллимацией» для локализации радиоактивного источника без использования физической коллимации, что обеспечивает высокую чувствительность и определение направления на источник.

В обычных гамма детекторах идентификация изотопа происходит по фотопику полного поглощения гамма-квантов. При этом гамма-квант испытывает несколько взаимодействий в веществе детектора, прежде чем поглотиться. Рассеянные веществом детектора гамма-кванты образуют комптоновский «хвост» слева от фотопика. Комптоновская техника используется при создании детекторов, позволяющих восстановить «образ» радионуклидного источника в пространстве (например, в томографии для медицинских или промышленных целей).

Следующим шагом явилось использование комптоновской техники [20] многократно рассеянных гамма-квантов. Использование трёх позиционно-чувствительных детекторов позволяет сделать детектор с уникальными свойствами. Расширяется область регистрации энергий (грубо $0.1 \div 10$ MeV), а система детекторов может обладать большой эффективностью регистрации гамма-квантов.

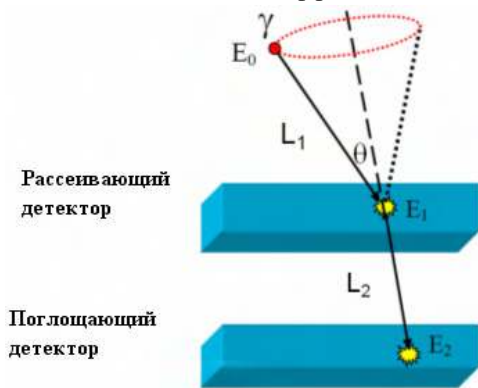


Рис.3. Принципиальная схема метода электронной коллимации.

электронной коллимации (рис.3).

Метод электронной коллимации основан на следующих принципах: 1) первый детектор (Scatter Detector) – однократный комптоновский рассеиватель (материал детектора с малым Z); 2) второй детектор полного поглощения (Analyser Detector) ангеровского типа (материал детектора с большим Z); 3) оба детектора обладают позиционной чувствительностью; 4) отбор событий происходит при одновременном срабатывании обоих детекторов. При этих условиях, можно применить соотношение, следующее из законов сохранения энергии и импульса (которое в литературе иногда называют «формулой Комптона») и определить так называемый конус направлений влёта гамма-кванта с энергией E_0 (см. Рис.3):

$$\cos \theta = 1 + m_0 c^2 \left(\frac{1}{E_0} - \frac{1}{E_2} \right), \quad (2)$$

где $\theta = L_1 L_2$ угол комптоновского рассеяния первичного гамма-кванта с энергией E_0 , $m_0 c^2$ - энергия покоя электрона, E_1 и E_2 – потери энергии в первом и втором детекторах:

$$E_0 = E_1 + E_2. \quad (3)$$

Пересечение, как минимум, трёх конусов в плоскости источника однозначно определяют его координаты,

как это видно из рис. 4.

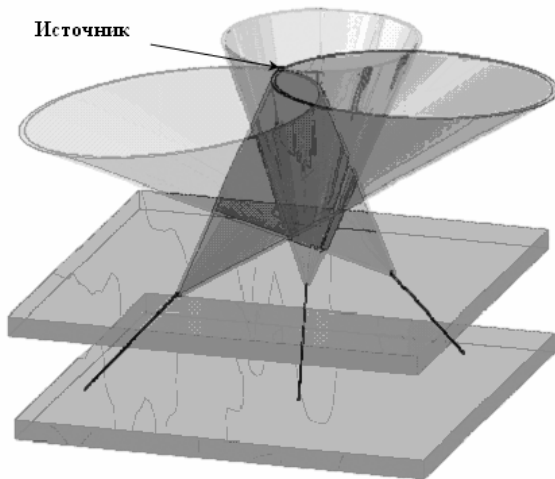


Рис.4. Схема восстановления координат источника при пересечении как минимум трёх комптоновских конусов.

предложено использование во втором детекторе дешёвого пластмассового сцинтиллятора вместо дорогостоящего щелочно-галогидного. Главная задача таких детектирующих систем-порталов теперь будет состоять в том, чтобы какими-либо способами (путём непосредственного измерения и/или вычислений) определить положение источника. Основным параметр – полную энергию гамма-кванта источника, можно узнать, сделав ряд разумных предположений (которые детально описаны ниже).

Ранее [22], на примере простого прототипа было показано, что вполне реально восстановить положение источника, несмотря на нарушение «классических» принципов электронной коллимации. Однако эффективность регистрации получается, при этом, примерно в два раза меньше (рис.5) при той же геометрии детекторов.

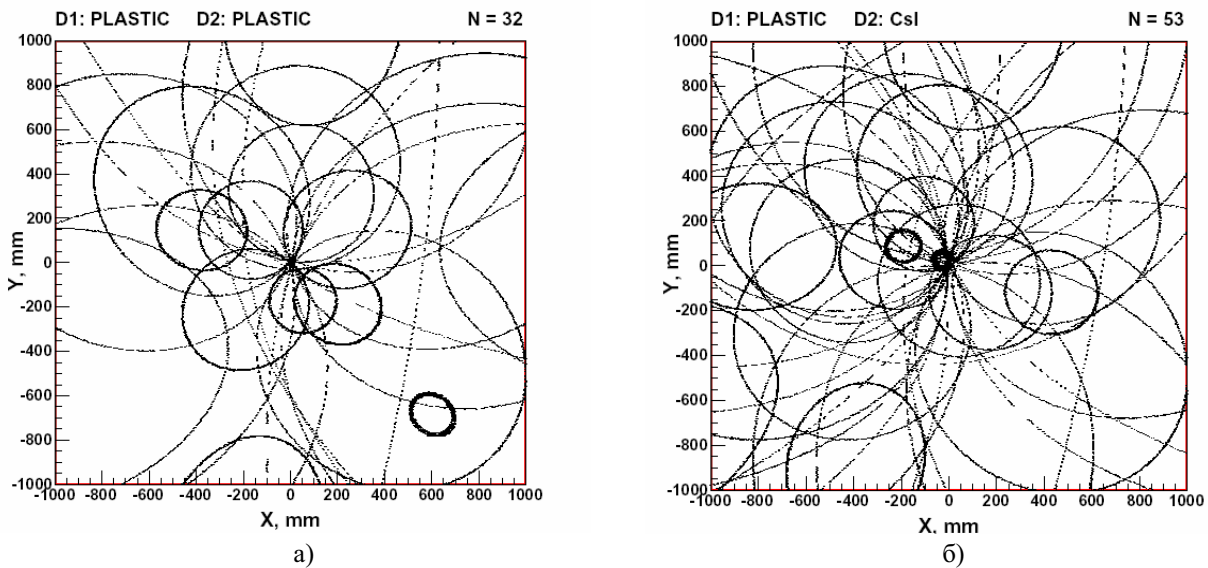


Рис.5. Восстановление координат источника.

Прототип RPM имеет размеры $500 \times 500 \times 50$ мм³. Источник с координатами ($x = 0.0$ м; $y = 0.0$ м) расположен на расстоянии 1 м от детектора. а) – оба детектора (D1, D2) из пластмассового сцинтиллятора, детектор D2 из CsI.

Для «компенсации» потери эффективности было предложено увеличить светосилу детекторов и проводить on-line обработку данных с учётом знания положения источника в пространстве. В целом, предлагаемый портал стал обладать новыми уникальными свойствами для работы в условиях радиационного фона окружающей среды по сравнению с существующими.

Дальнейшее развитие этого направления совершенствования порталов требует разработки более реалистической модели и соответствующих алгоритмов, которые возникли в связи с отказом от «классических» принципов электронной коллимации, чему и посвящена настоящая работа.

Описание модели

Излучение точечного источника гамма-квантов с энергией E_0 моделировалось (GEANT4 [23]) с учётом

В этой работе также сделана оптимистическая оценка чувствительности детектора на примере обнаружения высокообогащённого урана по линии $E_0 = 2614$ keV (^{208}Tl) на фоне этой же линии ториевого ряда естественной радиоактивности окружающей среды.

Приведенные примеры показывают, что возможности совершенствования порталных мониторов далеко не исчерпаны. Многие идеи, воплощённые в физике высоких энергий, астрофизике, ядерной медицине, могут найти успешное применение и при конструировании порталных мониторов нового поколения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. КОНЦЕПЦИЯ RPM НОВОГО ТИПА

Основные положения, касающиеся конструкции и принципов работы RPM с большой светосилой и реализующего метод электронной коллимации, были предложены авторами ранее [22]. Там же было

реальных размеров прототипа портала (рис.6). Рассматривались электромагнитные взаимодействия в диапазоне энергий $0.1 \div 10$ МэВ. Источник расположен на расстоянии L от детектора D_1 . Только совпавшие по времени сигналы в D_1 и D_2 регистрируются и записываются в базу данных. К параметрам записываемого события относятся: координаты взаимодействовавших гамма-квантов и оставленная в детекторах энергия (E_1 , E_2 - deposit energy). В дальнейшем эта информация использовалась для реконструкции положения источника (ROOT5 [24]). Размеры детекторов, число каналов считывания (стрипов) считаются известными и могут быть оптимизированы. D_1 , D_2 – позиционно-чувствительные детекторы (пластик) годоскопического типа размером $500 \times 500 \times 50$ мм³; $l = 250$ мм – расстояние между детекторами, $L = 1000$ мм – расстояние между детектором D_1 и плоскостью в координате z (она же – плоскость в которой разыгрывалось изотропное излучение фона), где расположен источник $E_0 = 1$ MeV с координатами (X_3, Y_3, Z_3) . DAQ – система сбора и обработки данных.

Фон представлял собой набор точечных источников с той же энергией E_0 и интенсивностью на уровне $1 \div 10$ импульсов/сек/см². Координаты таких точечных источников разыгрывались случайным образом в области видимости детектора. Направление вылета гамма-кванта разыгрывались как случайные в 2π геометрии по направлению к детекторам.

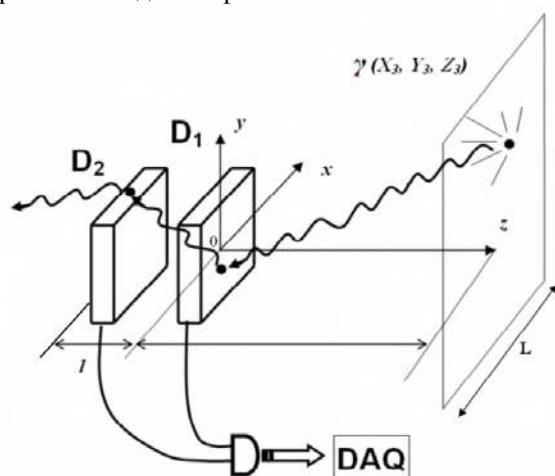


Рис.6. Геометрическая модель RPM, используемая в расчётах.

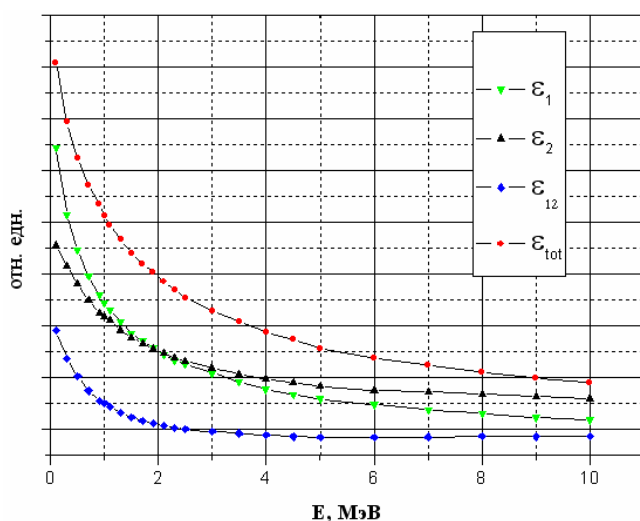


Рис.7. Зависимость эффективности регистрации ε компонентов детектора от энергии E_0 .

Эффективность RPM

Преимущества портала такого типа будут показаны на прототипе с указанными выше размерами и геометрией. Применение в первом и во втором детекторах дешёвого пластика позволяет конструировать порталы с уникальными регистрирующими свойствами. Это ключевая идея нашего подхода [22]. С другой стороны, использование материала с низким Z не позволяет определить полную энергию как сумму потерянных энергий гамма-квантом в первом и во втором детекторах согласно формуле (3). Как станет ясно из дальнейшего обсуждения, в нашем подходе можно определить полную энергию гамма-кванта E_0 различным образом.

В нашем случае критерием отбора зарегистрированного события является одновременное взаимодействие (совпадение в пределах времени разрешения) гамма-кванта как с первым, так и со вторым детектором (рис.7). Однако, существенной потери эффективности не будет благодаря возможности увеличить объём детектора.

Это хорошо видно на рис.7, где представлена зависимость от энергии числа событий зарегистрированных в обоих детекторах (ε_{tot}), числа событий зарегистрированных только в первом детекторе (ε_1), числа событий зарегистрированных только во втором детекторе (ε_2), числа совпавших по времени событий в обоих детекторах (ε_{12}). Как видно из этого рисунка, число событий, которые могут быть использованы при дальнейшей обработке в системе из двух детекторов, достигает примерно 30% во всём диапазоне энергий по сравнению с детектором суммарного объёма и той же площади. Этого вполне достаточно, чтобы

применить метод электронной коллимации за разумное время (обычно не более 30 с).

Коэффициент подавления фона

При оптимизации конструкции и реализации основных положений нас будут интересовать, прежде всего, расчёт основных параметров сцинтилляционных детекторов. Среди них выделим основные для наших целей: область максимальной чувствительности, ε – эффективность регистрации гамма-квантов от моноэнергетического источника излучения с энергией E_0 , коэффициент подавления при регистрации источника над фоном окружающей среды $N(E_{NORM})/N(E_\gamma)$. Определим его как отношение

$$\frac{N(E_{NORM})}{N(E_\gamma)} = \frac{N_b + N_s}{N_s}, \quad (4)$$

где $N_b + N_s$ – скорость счёта фона в плоскости источника в области чувствительности детектора (field-of-view); N_s – скорость счёта источника (если он обнаруживается на уровне фона) в области той площади, которую занимает источник.

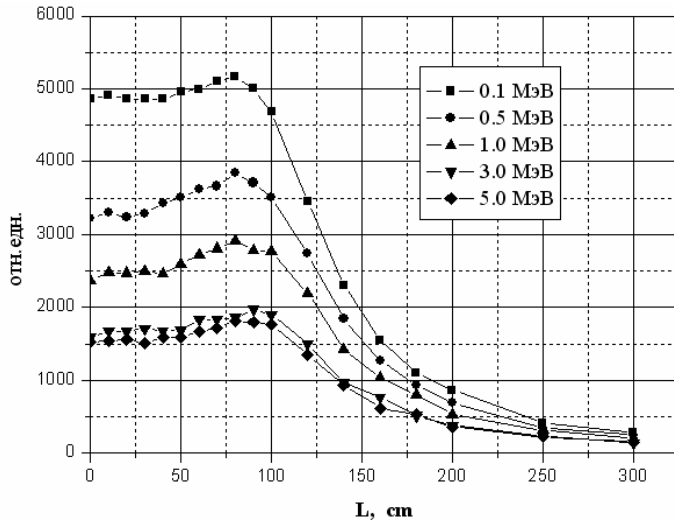


Рис.8. Зависимость чувствительности RPM вдоль плоскости детектора L для различных энергии источника.

Данные, приведенные на рис.8, получены путём сканирования вдоль плоскости детектора точечного моноэнергетического источника, находящегося на расстоянии 1 м от детектора.

Укажем здесь, что уже само применение метода совпадений позволяет регистрировать гамма-кванты избирательно, т.е. в определённом направлении, повышая, тем самым, чувствительность в этом направлении. Для прототипа RPM область чувствительности определим как апертуру детектора на уровне 50% спада чувствительности. (рис.8).

Тогда можно определить минимально детектируемую активность при использовании метода электронной коллимации следующим образом:

$$MDA_{ec}(Bк) = MDA(Bк) \cdot N(E_0) / N(E_{NORM}) \quad (5)$$

где $MDA(Bк)$ – минимальная обнаружимая активность; $N(E_0)$ – скорость счёта источника; $N(E_{NORM})$ – скорость счёта фона окружающей среды.

Алгоритм восстановления местонахождения точечного источника

Алгоритм восстановления положения источника (реконструкция) и обработки данных системой сбора данных DAQ реализованы в пакете ROOT5 [24].

Принцип электронной коллимации предполагает однократное комптоновское рассеяние гамма-кванта в первом (D1) детекторе. Восстановление по многократному (более 1 раза) рассеянию дает расхождение при обработке и интерпретируется нами как добавочный фон к естественному фону окружающей среды.

Обозначим угол комптоновского рассеяния между направлением движения падающего гамма-кванта и направлением рассеянного гамма-кванта как θ (рис.3.), который вычисляется согласно (2). Тогда, используя соотношение между векторами L_1 и L_2 :

$$L_1 \cdot L_2 = |L_1| \cdot |L_2| \cdot \cos \theta \quad (6)$$

или проведя покомпонентное перемножение:

$$\cos \theta = \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 + \cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 + \cos \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 &= (x_1 - x_2) / |L_1|, \\ \cos \beta_1 &= (y_1 - y_2) / |L_1|, \\ \cos \gamma_1 &= (z_1 - z_2) / |L_1|, \end{aligned} \quad (8)$$

направляющие косинусы вектора L_1 , а

$$\begin{aligned} \cos \alpha_2 &= (x_3 - x_1) / |L_2|, \\ \cos \beta_2 &= (y_3 - y_1) / |L_2|, \\ \cos \gamma_2 &= (z_3 - z_1) / |L_2|, \end{aligned} \quad (9)$$

направляющие косинусы вектора L_2 .

Для длин векторов справедливы соотношения:

$$\begin{aligned} |L_1|^2 &= (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2, \\ |L_2|^2 &= (x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Зная $\cos \theta$ и, считая известными координаты гамма-квантов в плоскостях детекторов D1 и D2, можно найти координаты источника гамма-квантов (x_3, y_3, z_3) минимизируя нелинейный функционал:

$$F(x_3, y_3, z_3, E_0) = \cos \theta - (\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 + \cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 + \cos \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2) \quad (11)$$

Функционал $F(x_3, y_3, z_3, E_0)$ минимизируется в пределах максимальной области чувствительности детектора.

Укажем здесь, что разрешение области локализации источника не может быть меньше координатного разрешения детекторов, что, в свою очередь, зависит от конкретной реализации конструкции RPM. В [25÷28] можно найти пример оптимальной реализации светосбора с большой площади на миниатюрный фотосенсор

H5783 (ФЭУ R5600 HAMAMATSU), реализованной для мюонной системы установки CDF II (Fermilab). Аналогичная задача для светосбора на ФЭУ решена в [29].

Определение энергии гамма-квантов в RPM

Главная особенность предложенной конструкции состоит в использовании пластмассового сцинтиллятора в обоих детекторах, что исключает, как правило, измерение первичной энергии гамма кванта E_0 . Однако есть несколько путей решения этой проблемы.

Первый путь состоит в том, что мы считаем полную энергию E_0 известной. Это может быть в тех случаях, где особенность конструкции RPM позволяет это сделать, например, в узкоспециализированных порталах, ориентированных на регистрацию определённого типа изотопа [13].

Второй путь использование базы данных с N известными гамма линиями – $[E_i, i=1 \div N]$. Дело в том, что количество стабильных изотопов, представляющих интерес для поиска, ограничено (см. гл.2, табл. 1,2,3,4, [30,31]). При последовательном переборе i изотопов из такой базы данных наблюдается «эффект фокусировки». При совпадении E_i с истинной энергией E_0 , происходит локализация источника, т.е. согласно алгоритму восстановления событий в области источника наблюдается превышение скорости счёта над фоном. Другой изотоп с $E_i \neq E_0$ «расфокусируется», т.е. не наблюдается в локально выделенной в пространстве области с большей скоростью счёта, чем скорость счёта фона.

Третья возможность иллюстрируется на рис.9, где представлено распределение энергетических потерь гамма-квантов в обоих детекторах. Спектры D1 и D2 (рис. 9-а, в) – измеренные спектры в соответствующих детекторах. Суммируя пособытийно (вычислительным образом) можно получить спектр, основная часть которого смещена на величину примерно равную 0.8 от полной энергии.

Но здесь мы считаем, что в отличие, скажем, от использования метода электронной коллимации в гамма-астрономии или томографии, при разработке алгоритма порталного монитора не требуется точного знания энергии и координат источника. Конечная задача – «увидеть» превышение сигнала над фоном.

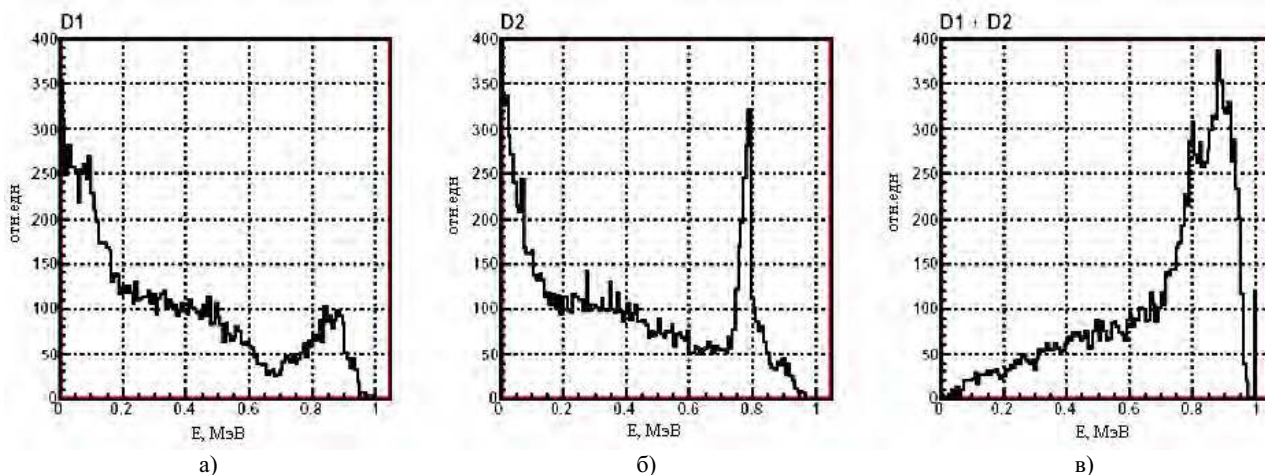


Рис.9. Распределение энергетических потерь в детекторах а) – детектор D1, б) - детектор D2, в) - конволюция а) и б).

Погрешность измерения энергии в стрипе определяется флуктуациями числа фотоэлектронов ФЭУ, неравномерностью светосбора и затуханием (bulk attenuation length) в пластмассовом сцинтилляторе. В программе моделирования реальных параметров сцинтилляторов MCNP [33] эта величина, называемая гауссовым уширением (GEM), учитывается согласно формуле:

$$FWHM(E) = a + b \cdot \sqrt{(E + c \cdot E^2)}, \quad (12)$$

где коэффициенты (a,b,c) определяются фитированием реального спектра и для пластмассового сцинтиллятора выбирались равными (0, 0.407, 0). В этом случае энергетическое разрешение $FWHM(E) = 50\%$ для $E_0 = 0.662$ keV, а для NaJ(Tl) – 8%. Однако, мы считаем, что для конструкции стрипа указанного выше типа эта величина может быть уменьшена вдвое в силу знания координаты взаимодействия гамма-кванта.

На рис.10 представлены результаты по итерационному поиску сходимости по «глубине». Обработка проводилась с использованием ROOT5 [24]. В качестве функции выбиралась $N_i = \text{constant} \cdot \exp(-(x_i - \text{Mean})^2 / (2 \cdot \sigma^2))$, $\chi^2 = \sum (N_i - N(i))^2 / \sigma_i^2$, где суммирование проводится по всем бинам n а $\text{ndf} = n - 3$.

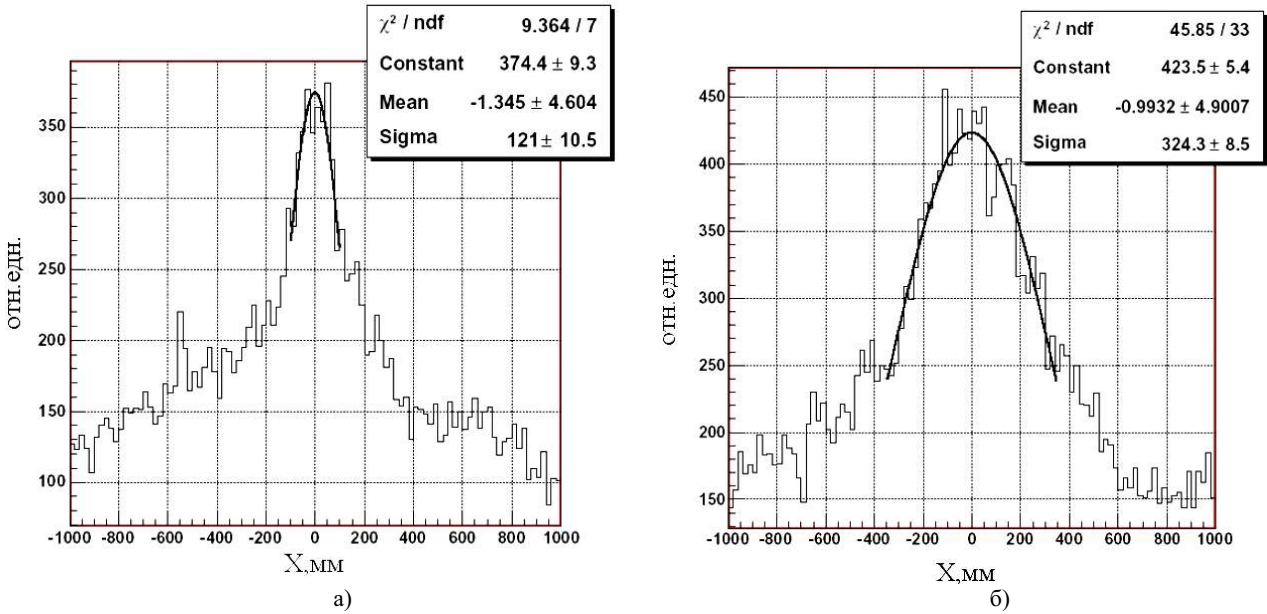


Рис.10. Иллюстрация метода сходимости параметров (X_3, Y_3, Z_3, E_0) согласно критерию χ^2 .
 а) $\sigma_x \approx 121$ при $Z_3 = 1200$ мм; б) $\sigma_x \approx 324$ при $Z_3 = 2000$ мм.

В заключении укажем на возможность определения, как полной энергии, так и координат источника при отслеживании зависимости ширины на полувысоте (Sigma) локализации источника (σ_x, σ_y) от параметров, которыми являются неизвестные координаты источника (X_3, Y_3, Z_3) и полная энергия E_0 согласно рис.6. При соблюдении критерия согласия $\chi^2/\text{ndf} \approx 1$, сходимость наблюдается при истинных значениях параметров. Для иллюстрации метода на рис.10 показаны два случая вычисления σ_x в точках $Z_3 = 1200$ мм (а) и $Z_3 = 2000$ мм (б). Минимальное значение σ_x (например, сходимость по координате X_3) ожидается после нескольких последовательных итераций к точке $Z_3 = 1000$ мм. Такой способ, по всей видимости, потребует решения задачи сходимости и значительных вычислительных ресурсов.

Определение координат гамма-квантов в RPM

При реализации алгоритма восстановления положения источника требуется знание координат взаимодействия гамма-квантов в детекторах. Точность определения координат зависит как от конструкции системы считывания, так и от погрешности измерения.

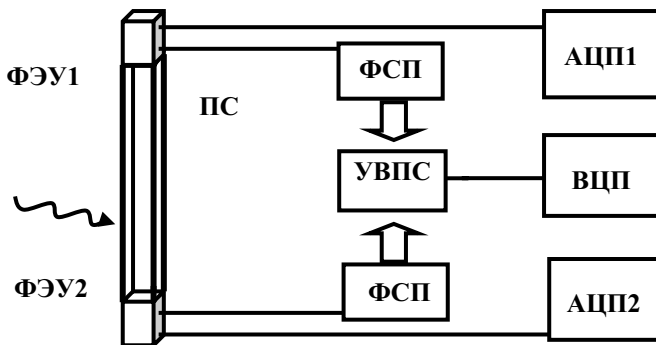


Рис.11. Возможная структурная схема определения координат взаимодействия гамма квантов в модуле.
 ФЭУ1,2 – фотоумножители; АЦП1,2 – аналогово-цифровой преобразователь; ФСП – формирователь со следящим порогом, УВПС – усреднитель времени прихода сигнала, ВЦП – времяцифровой преобразователь, ПС – длинномерный пластмассовый сцинтилятор (стрип).

Существующие позиционно-чувствительные детектирующие системы и соответствующие электронные системы считывания достаточно дороги [32]. Они применяются, например, в гамма астрономии, где это вполне оправдано и целесообразно. Для разработки портала такие системы не будут подходить не только в силу высокой стоимости, но и в связи с отсутствием необходимости точного определения координат источника. Согласно излагаемой здесь концепции важно только каким-либо способом найти местоположение источника на уровне фона радиации окружающей среды.

На рис.11 показана возможная конструкция стрипа (модуля). Таким образом, детекторы D1 и D2 (рис.6.) представляют собой годоскопическую

систему, состоящую из стрипов-модулей. В пластмассовом сцинтиляторе точность определения координат оценивается в несколько сантиметров в широком диапазоне энергий (за счёт комптоновского рассеяния). Поэтому позиционно чувствительный детектор может состоять из длинномерных стрипов с сечением несколько сантиметров. Каждый стрип просматривается двумя фотоприёмниками для определения точки взаимодействия гамма-кванта по времени распространения в нём светового сигнала вдоль стрипа. Номер стрипа определяет

поперечну координату.

Такая конструкция позволит уменьшить число каналов считывания и существенно удешевит DAQ.

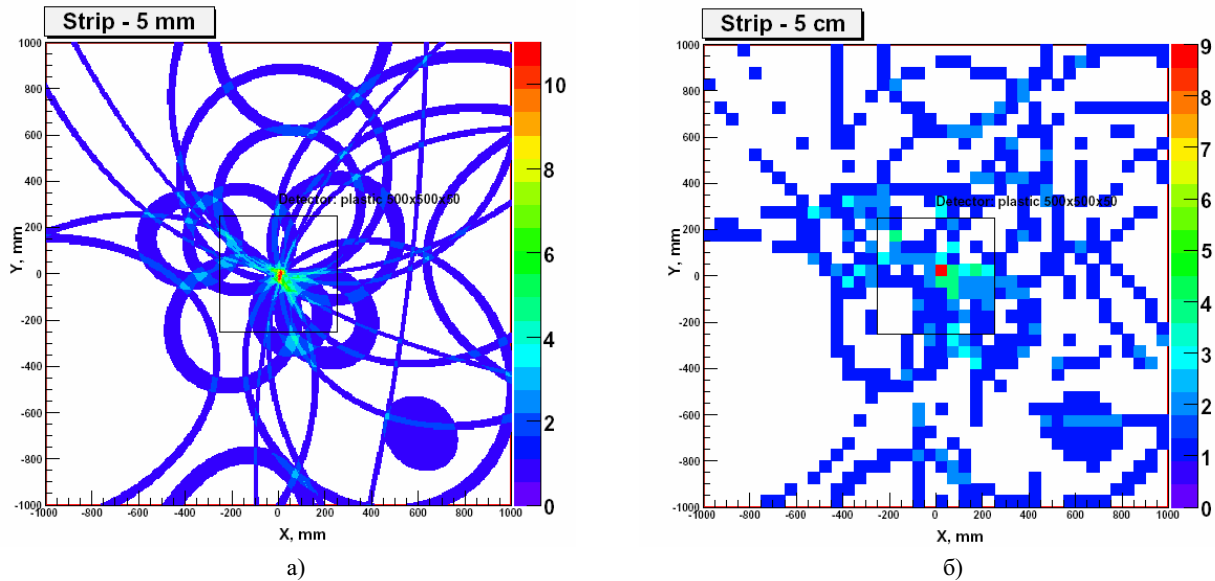


Рис. 12. Влияние координатного разрешения на точность (σ_x, σ_y) локализации источника.
а) $\Delta_s = 5$ mm; б) $\Delta_s = 50$ mm.

Небольшое количество стрипов, а соответственно большой их размер (рис.12), безусловно, ухудшают локализацию источника, однако достаточны, чтобы существенно уменьшить ("подавить") влияние фона согласно формулы (4).

Учёт радиоактивного фона окружающей среды

Как отмечалось ранее, фон моделировался плоским источником, расположенном на одном расстоянии с точечным изотропным источником согласно условиям 4.1. Результаты приведены в таблице 6.

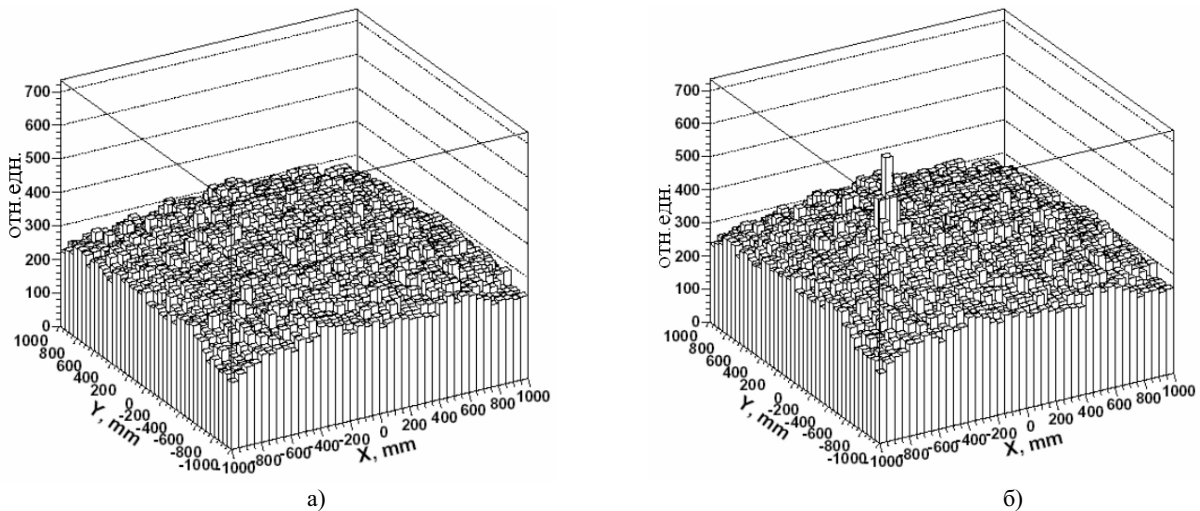


Рис. 13. Иллюстрация восстановления координат источника, излучающего на уровне равномерного фона при ширине стрипа 50 мм

а) – фон, имеющий равномерное распределение на площади 1000x1000 мм;

б) – восстановленный источник в точке $(x = -500$ мм, $y = 200$ мм) на уровне равномерного фона.

При определении чувствительности метода плотность скорости счёта фона оставалась постоянной (т.е. имела равномерное распределение по координатам X и Y). Общее число событий фона составляло $N_{\text{GEANT4}} = 10^8$ в исследуемой области размером 2000x2000 мм. Большое значение числа разыгрываемых гамма-квантов фона позволяло добиваться относительной однородности (рис.13), снижая флуктуации. Интенсивность источника менялась от $2 \cdot 10^6$ до $3 \cdot 10^5$. В рассматриваемом примере количество ячеек варьировалось: 40x40 или 400x400 (рис.12). Соответственно, минимально измеряемый размер источника равен размеру ячейки. Критерием обнаружения источника («видимости» источника) являлось превышение числа счётов в одной из ячеек над средним уровнем фона в исследуемой области. Таким образом, получаем $\sim 50 \div 200$ кратное превышение скорости счёта источника над фоном, что и позволяет идентифицировать точечный источник.

Таблица 6. Результаты вычислений коэффициента подавления фона

Общее число событий (источник), N_{GEANT4}	Число зарегистрированных событий от источника, N_s	Число анализируемых DAQ событий, $N_b + N_s$	Коэффициент подавления фона, $(N_b + N_s) / N_s$	Критерий анализа («видимость» источника), да/нет
$2 \cdot 10^6$	2523	137790	54,6	да
$1 \cdot 10^6$	1226	136493	111,3	да
$5 \cdot 10^5$	634	135901	214,5	да
$3 \cdot 10^5$	376	135643	361,0	нет

Однако в реальном приборе, естественно, существуют пределы обнаружения источника, связанные с погрешностями измерения координат и энергии в детекторах.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены основные тенденции развития радиационных порталных мониторов – основного таможенного прибора контроля несанкционированного провоза SNM и радиоактивных материалов. Считается, что главная проблема таких приборов – ложные срабатывания. Стандартные подходы не позволяют решить эту проблему.

2. Показана возможность отказа от ряда принципов электронной коллимации при разработке радиационного порталного монитора, обладающего большой светосилой. При этом, главная задача такого монитора состоит в нахождении маскированного, локализованного в пространстве источника и выделении его на фоне излучения окружающей среды, что и будет критерием его обнаружения. Равномерно распределённый в пространстве источник (т.е. фон) не будет идентифицироваться как маскированный источник. Другие определяемые (или вычисляемые на основе некоторых предположений) параметры – полная энергия гамма-кванта, соответствующая определённой сигнатуре SNM, также может свидетельствовать о наличии такого источника.

3. Возможность использования в обоих детекторах пластмассового сцинтиллятора (с низким Z материала) резко удешевляет конструкцию портала, позволяет увеличить его светосилу, что недоступно при других подходах. Эффективность регистрации, при этом, также существенно возрастает. Значит, и способность обнаружения маскированного источника резко увеличивается. Это новое качество портала делает такой подход чрезвычайно перспективным. Возможность объединения детекторов в группы наделяет такие порталы уникальными свойствами по надёжности обнаружения маскированного источника.

4. Отказ от некоторых принципов электронной коллимации, тем не менее, позволяет использовать формулу Комптона и восстанавливать местоположение источника. Строго говоря, это стало возможным только при ориентировании именно на задачу порталов. Теоретически соотношение сигнал/шум может быть очень высоким. Очень важно, что точность определения положения источника отступает на второй план, более важно определение коэффициента подавления фона. В качестве примера, подтверждающего концепцию, коэффициенты подавления фона найдены для реалистического прототипа RPM.

5. Создана реалистичная, компьютерная модель портала для дальнейшей оптимизации конструкции и изучения возможностей данного подхода. В модель заложены реальные сцинтилляционные и конструкторские параметры, которые взяты из существующих в настоящее время конструкций детекторов.

6. Создана компьютерная модель системы сбора и обработки экспериментальных данных и вычисления местоположения источника, которая может быть основой для разработки схемотехнических решений DAQ портала.

7. Показаны возможные конструкции стрипов-модулей, из которых может состоять реальный портал. Они оптимизированы по стоимости и удобны при стендовых испытаниях.

В заключении авторы выражают благодарность Е.С. Шматко за обсуждение и важные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- <http://www.iaea.org/>
- “Prevention of inadvertent moving and illegal circulation of radioactive materials” // IAEA, Vienna.– IAEA-TECDOC-1311.– 2002.–P.1-26. – <http://www.iaea.org/>
- “Обнаружение радиоактивных материалов на границе” // IAEA-TECDOC-1312. –2002. – P. 1-17. <http://www.iaea.org/>
- “Radiating portal monitors for use on border” // IEEE-SA.– ANSI N42.35.–2004.–P.1-31.– <http://www.ansi.org/>
- International Electrotechnical Commission <http://www.iec.ch/>
- “Monitors radiating nuclear materials. The common technical requirements” // GOST P51635.–2000.– <http://www.gost.ru/wps/portal/>
- Радиационный порталный монитор МПС-01 «Кордон-МН» // «Позитрон GmbH» .– ТУ, Госреестр Украины У2305-06.– 2006. <http://www.lexltd.com.ua/>
- The Austrian Research Centers GmbH. <http://www.arcs.ac.at/>
- Колеватов Ю.И., Семенов В.П., Трыков Л.А. Спектрометрия нейтронов и гамма-излучения в радиационной физике.–

- М.: Энергоатомиздат, –1991. – 296с.
10. Ziock K.P., Craig W.W., Fabris L. et al., Large Area Imaging Detector for Long-Range, Passive Detection of Fissile Material // IEEE Transactions on Nuclear Science. – October 2004. –Vol. 51, №5. – P. 2238-2244.
 11. Report on the Workshop on the Role of the Nuclear Physics Research Community in Combating Terrorism // DOE/SC-0062, Washington, D.C. – 11-12 July 2002. – P.1-60; <http://sc.doe.gov/production/henp/np/homeland/>
 12. Grabski V., Reche R., Alfaro R. et al., The use of cosmic muons in detecting heterogeneities in large volumes // Nucl. Instr. & Meth. – 2008. – Vol. A 585. – P. 128-135.
 13. Canberra Packard. USA, <http://www.canberra.com/>
 14. SAIC Exploranium, <http://www.saic.com/>
 15. Reeder P.L., Craig R.C., Stephens D.L. et al., Progress Report for the Advanced Large-Area Plastic Scintillator (ALPS) // Pacific Northwest National Laboratory (PNNL). – PNNL-14490. – November 2003. – P.1-14.
 16. Shea D.A., Morgan D., Moteff J.D. The Advanced Spectroscopic Portal Program // CRS Report for Congress. – RL34750. – November 17, 2008. – P.1-27.
 17. http://www.nationaldefensemagazine.org/issues/2005/Nov/Nuclear_Detectors.htm
 18. Mihalezo J.T., Mullens J.A., Mattingly J.K. et al., Physical Description of Nuclear Materials Identification System (NMIS) Signatures // Nucl. Instr. & Meth. – 2000. – Vol. A 450. – P. 531-555.
 19. Gosnell T.B., Hall J.M., Ham C.L. et al. Gamma-Ray Identification of Nuclear Weapon Materials // Lawrence Livermore National Laboratory. – UCRL-ID-127436. – February 3, 1997. – P.1-14.
 20. Kroeger R.A., Johnson W.N., Kurfess J.D. et al. Gamma Ray Measurement using the Multiple Compton Technique // IEEE Nuclear Science Symposium, Lyon, France. – October 15-20, 2000. – P.1-5.
 21. Wulf E. A., Bernard F. Philips, W. Neil Johnson et al. Compton imager for detection of special nuclear material // Nucl. Instr. & Meth. – 2007. – Vol. A 579. – P.371-374.
 22. Dubina V.N., Kovtun V.E. Design of new generation radiation portal based on large area plastic scintillators // 2 International Conference “Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy (NPAE-Kyiv2008)” Kyiv, Ukraine. – 2008. – June 9 - 15, <http://www.kinr.kiev.ua/NPAE-Kyiv2008/>; Kovtun V.E. Светосильный порталный радиационный монитор с большим подавлением фона // ISMART 2008. – 2008. –17-21 ноября. – С.1-20. <http://www.ismart.com.ua>
 23. Agostinelli S. Allison J., Amako K. et al. GEANT4-a simulation toolkit // Nucl. Instr. and Meth. - 2003. - Vol. A 506. - P. 250-303; <http://geant4.web.cern.ch/geant4/>
 24. The ROOT System, <http://root.cern.ch/>
 25. E.H.Bellamy, G.Bellettini, J.Budagov et al. Test of Long Scintillation Counters for Supercollider Detectors // Nucl. Instr. & Meth. – 1994. – Vol. A 343. – P.484-488.
 26. Artikov A., Budagov J., Chirikov-Zorin I. et al. Design and construction of new central and forward muon counters for CDF II // Nucl. Instr. and Meth. – 2005. – Vol. A538. – P. 358-371.
 27. Artikov A., Budagov J., Chirikov-Zorin I. et al. New-generation large-area muon scintillation counters with wavelength shifter fiber readout for CDF II // Письма в ЭЧАЯ. – 2006. – Vol.3, №132. – P. 81-102.
 28. Bellettini G., Budagov J., Zalyubovsky I. Development of advanced technology in ionizing radiation detectors of large dimensions // INTAS - 1994. - Vol. 1171.-P. 1-37.
 29. Acharya B.S., Baldin B., Banerjee S. et al. Scintillation Counters for the DØ Muon Upgrade // FERMILAB-Pub-97/226-E. – July 1997. – P. 1-28.
 30. Novikova E.I., Philips B.F., Wulf E.A. A γ -ray background model for Monte Carlo simulations // Nucl. Instr. & Meth. – 2007. – Vol. A 579. – P. 279-283.
 31. Gronberg J., Johnson S., Lange D. et al. Source and Background Gamma-ray Spectra // Lawrence Livermore National Laboratory. – UCRL-TR-216487. – October 24, 2005. – P.1-5.
 32. Schonfelder V., Aarts H., Bennett K. et al. Instrument Description and Performance of the Imaging Gamma-Ray Telescope COMPTEL aboard NASA’s Compton Gamma Ray Observatory // Astrophys. J. Suppl. – 1993. –Vol. 86, №2. – P. 657-692.
 33. Siciliano E.R., Ely J.H., Kouzes R.T. et al., Energy calibration of gamma spectra in plastic scintillators using Compton kinematics // Nucl. Instr. & Meth. – 2008. – Vol. A 594. – P. 232-243.

THE CONCEPT OF RADIATION PORTAL MONITOR OF NEW GENERATION

V.N. Dubina, V.E. Kovtun

*Kharkov Karazin national university
Ukraine, 61077, Kharkov, Svoboda sq., 4
kovtun@pht.univer.kharkov.ua*

Radiation Portal Monitors based on plastic scintillator are wide used kind of passive detector. These relatively cheap detectors are very need under nuclear and radioactive materials check at such a checkpoints as airports, state boards, railway crossing et all. Modern monitors have a high enough sensibility to gamma-channel. But a main problem is a false signal due to radiation background fluctuation and cargo. It doesn't allow to certainly identifying the masked radiation source in cargo. The main proposed idea of this article is electron collimation method with plastic scintillators detectors using for radiation source placement definition that means essential background suppression. Due to background suppression and source identification we can to enlarge detector square and achieve registration under very small levels of minimum detectible activity (MDA). Using a plastic of big square and possibility to suppressed background essentially makes high efficiency radiation portal monitor as new generation detector indeed. There is discussion of principle construction and data acquisition system (DAQ). The previous experience that we have got under muon system construction for CDF II (FERMILAB) has taken to account. Monte-Carlo calculation results (by means Geant4 and ROOT5 work up) are presented too.

KEY WORDS: nuclear terrorism, special nuclear materials, radiation portal monitor, electronical collimation method, time of flight method, background suppression, coincidence method, plastic scintillator