

**Использование детекторов быстрых и
тепловых нейтронов на основе оксидных и
полупроводниковых сцинтилляторов в
системах обнаружения
несанкционированного провоза
радиоактивных веществ**

**Б.В. Гринев, В.Д. Рыжиков, Л.А. Пивень, Г.М. Онищенко,
Л.Л. Нагорная, Е.К. Лисецкая, Ю.А. Бороденко, А.Ф. Коваль**

Институт сцинтилляционных материалов НТК

Институт монокристаллов НАН Украины

Харьков, пр.Ленина, 60,

ИСМАРТ 2008

СОДЕРЖАНИЕ:

- **Введение**
- **МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ СЦИНТИЛЛЯТОРАМИ**
- **ПЕШЕХОДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ**
- **Выводы**

Введение

Ранее нами была показана возможность практического использования детекторов на основе кристалла вольфрамата кадмия CdWO_4 в качестве детекторов тепловых и резонансных нейтронов. Позднее были представлены результаты экспериментальных исследований возможности обнаружения этими детекторами источников быстрых нейтронов, помещенных в защитные экраны.

В работе [1] приведены результаты исследования эффективности регистрации быстрых нейтронов оксидными сцинтилляторами CWO , BGO , GSO , ZnWO , $\text{LiI}(\text{Eu})$, ZnSe .

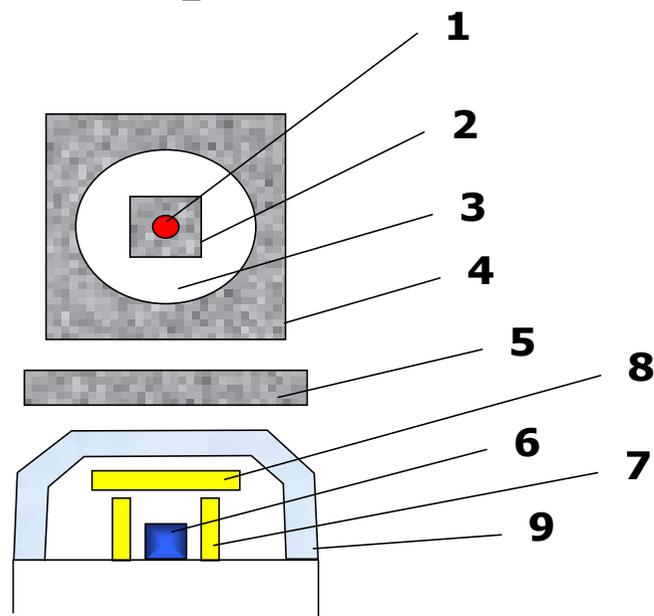
Показано, что наиболее вероятным механизмом высокоэффективной регистрации быстрых нейтронов является реакция неупругого рассеяния на тяжелых ядрах сцинтиллятора ($n, n'\gamma$).

Экспериментальные результаты сопоставлены с модельными оценками.

- 1. V.D. Ryzhikov, G.M. Onyshcheko, L.A. Piven, B.V. Grinyov, C.F. Smit, T. Pochet, L.L. Nagorna. Detectors for high efficiency detection of fast neutrons using inelastic scattering. SORMA-2008.**

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ БЫСТРЫХ
НЕЙТРОНОВ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ
СЦИНТИЛЛЯТОРАМИ**

Объединенная структурная схема всех проведенных экспериментов



Расстояние между центрами источника нейтронов и кристалла выбрано равным 200 мм. В качестве защиты от сопутствующего гамма-излучения источника использовался экран 5 из свинца толщиной 4 см, который участвовал во всех экспериментах. Остальные компоненты:

- замедлители 3 и 9;
- свинцовые экраны 2 и 4 (защита от низкоэнергетичного рассеянного гамма-излучения источника нейтронов);
- гадолиниевые экраны 7 и 8 (защита детектора от тепловых нейтронов) использовались по мере необходимости.

В ходе экспериментов была проведена оценка эффективности регистрации и чувствительности исследуемых сцинтилляторов на основе тяжелых оксидов к быстрым нейтронам с помощью детекторной системы сцинтиллятор-ФЭУ, которая регистрировала гамма-кванты из реакции $(n, n'\gamma)$ в энергетическом диапазоне 10–300 кэВ.

С целью получения однозначного соответствия между фактом взаимодействия нейтрона и появлением счётного импульса в рабочем окне регистрирующей системы в проведенных измерениях постоянная времени интегрирования спектрометрического сигнала выбиралась для всех сцинтилляторов одинаковой и достаточно большой (~30 мкс).

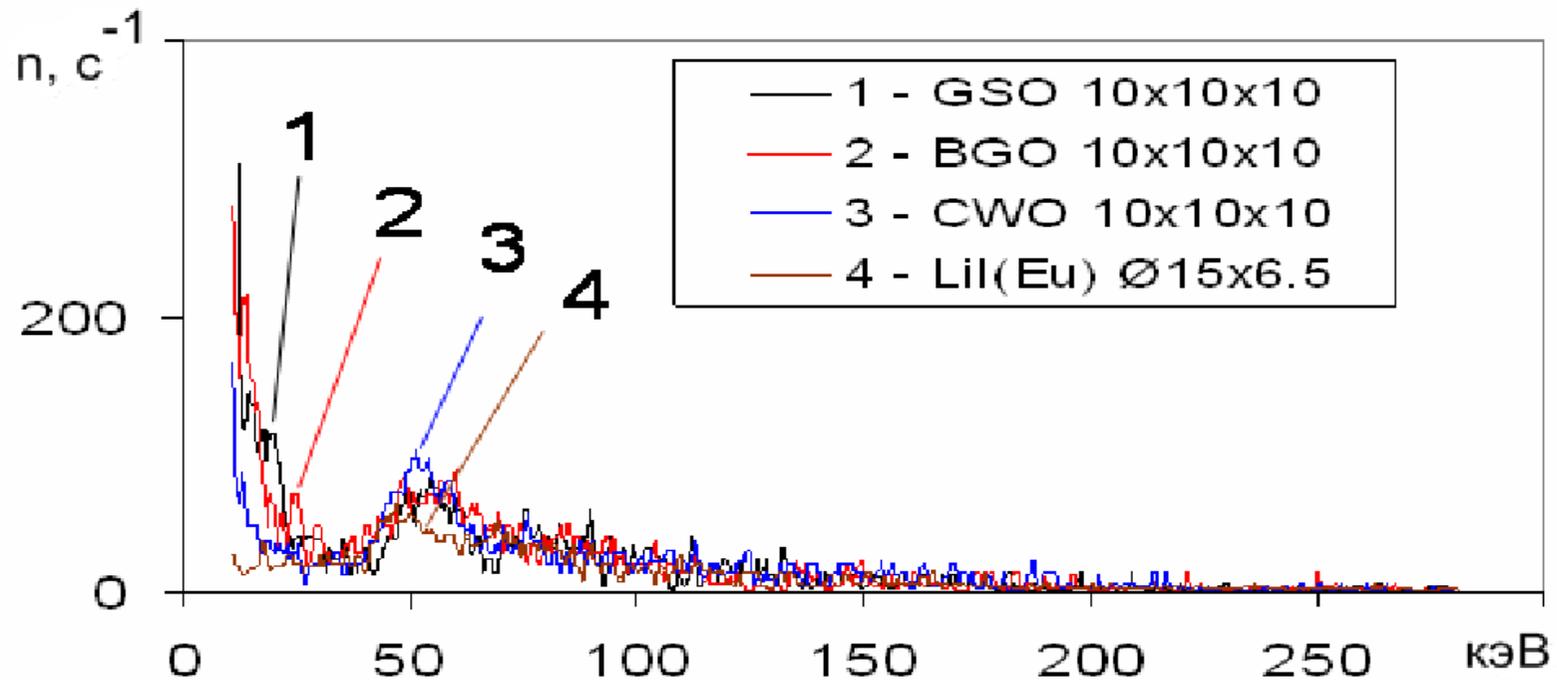


Рис.2. Спектры гамма-излучения, полученные при взаимодействии быстрых нейтронов с различными типами сцинтилляторов: (1)– GSO 10x10x10 мм; (2)– BGO 10x10x10мм; (3)– CWO 10x10x10; (4) – LiI(Eu).

Вид спектрограмм свидетельствует, что эффективности регистрации быстрых нейтронов мало отличаются для сцинтилляторов одного и того же размера. Спектрограммы показывают, что области энергий преимущественной регистрации гамма-квантов приблизительно одинаковы для всех используемых в эксперименте сцинтилляторов (10–300 кэВ).

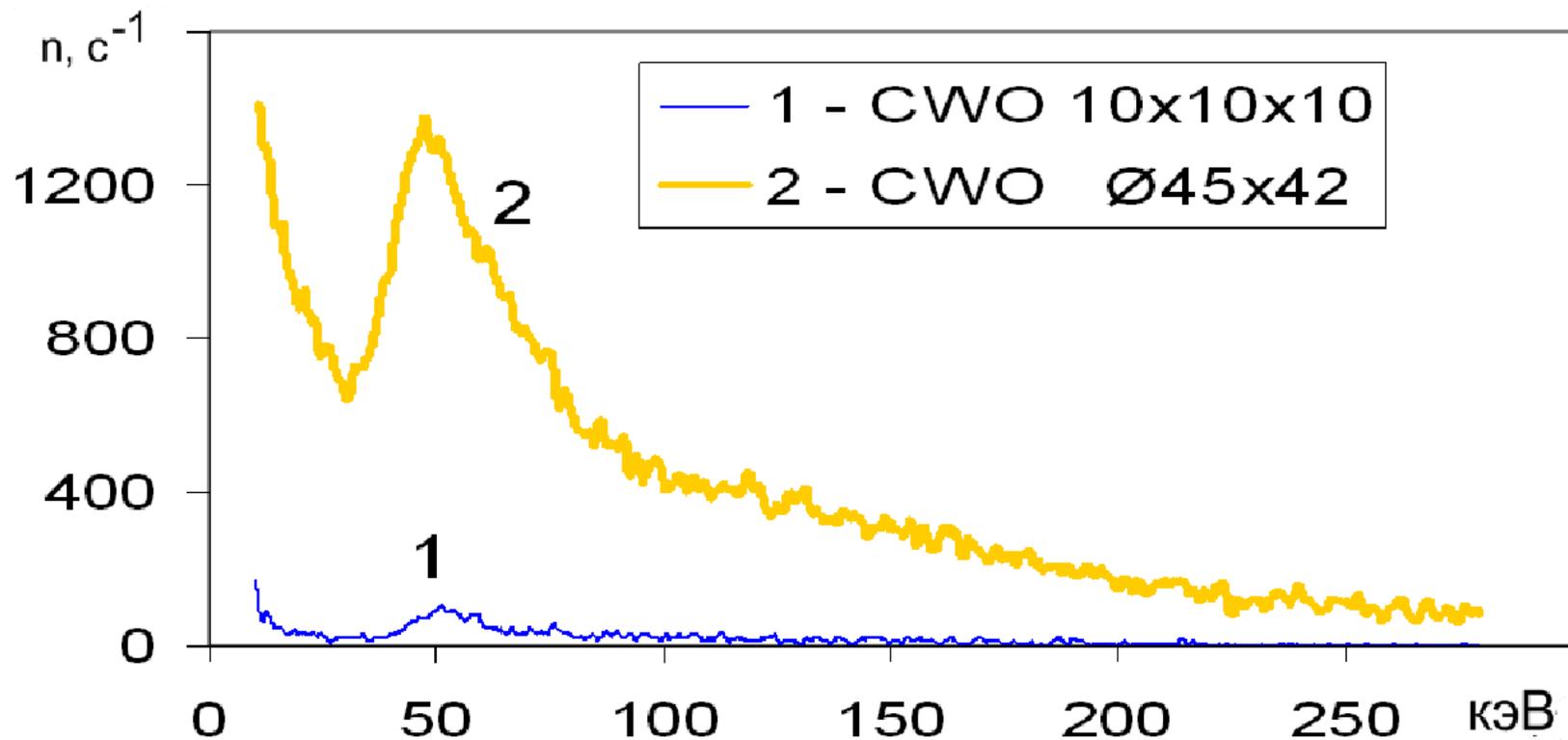


Рис.3. Спектры гамма-излучения, полученные при взаимодействии быстрых нейтронов со сцинтилляторами на основе CWO: (1) – CWO 10x10x10; (2) – CWO 45x42;

Вид спектрограмм свидетельствует, что чувствительность детекторов пропорциональна геометрическим размерам.

Табл. 1. Результаты измерений **эффективностей регистрации потоков нейтронов различными **сцинтилляторами** в энергетическом диапазоне для гамма-квантов 10–300 кэВ.**

	ZnSe	NaJ	LiJ	CsI	GSO	ZnWO	CWO	BGO	LiI (по реакции Li(n,α)T)
Zэфф	33	51	52	54	59	61	66	75	52
Эфф.регистрации полная, %	54	23	27	21.6	47	58	45	50	0.66
Эфф.регистрации б.н., %	43	18	25	20	46	54	42	48	0.66
Эфф.регистрации б.н., при наличии замедлителя дет.	75	24	30	25	90	70	46	83	-
Эфф.регистрации тепловых нейтронов, %	0	30	90	0	65	44	67	34	93

Экспериментальные результаты, приведенные в Таблице 1, свидетельствуют о том, что **полная эффективность регистрации быстрых нейтронов различных кристаллов в диапазоне энергий регистрации гамма-излучения 10–300 кэВ находится в пределах от 40 до 60 %. Этот результат согласуется с данными, известными из литературы [2].**

2. M. Anelli, G. Battistoni, S. Bertolucci et al. Measurement and simulation of the neutron response and detection efficiency of a Pb-scintillating fiber calorimeter. NIM, A580 (2007) 368-372.

В Институте сцинтилляционных материалов (Харьков, Украина) разработана система несанкционированного ввоза–вывоза радиоактивных веществ “Портал-П” с использованием новых блоков детектирования (БД) **быстрых нейтронов** на основе оксидных сцинтилляторов CdWO_4 .

Система “Портал-П” на основе 2-х стоек с детекторами гамма-нейтронного излучения на основе CdWO_4 40x40x100 мм при сравнительно небольших габаритах и весе (3 кг) обладает такой же чувствительностью к нейтронам, как и системы “Янтарь-1-П” с детекторами нейтронов на основе ^3He -счетчиков весом 130 кг.

При этом вероятность обнаружения трансурановых материалов за счет повышения чувствительности детектора в диапазоне малых энергий **гамма-излучения** увеличилась более чем на **порядок** по сравнению с системой “Янтарь-1-П”.

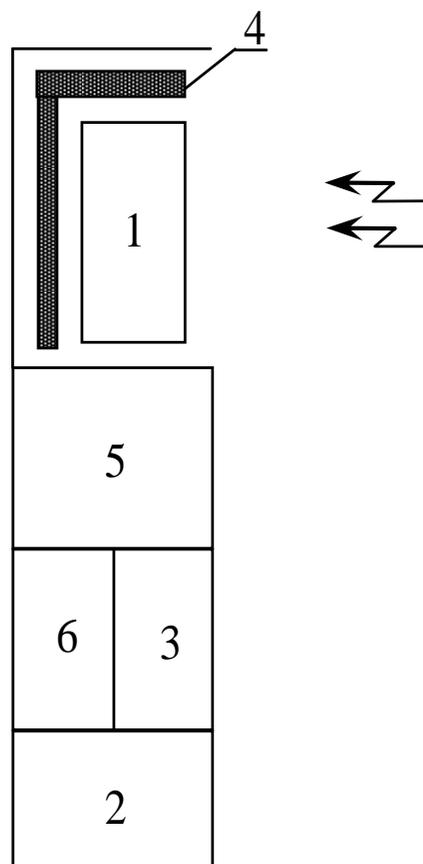


Рис. 4. Конструкция детектора для систем обнаружения РАВ: 1 - кристалл CdWO_4 ; 2 - контроллер; 3 – высоковольтный преобразователь; 4 – свинцовая защита; 5 – фотоэлектронный умножитель; 6 – спектрометрический усилитель.

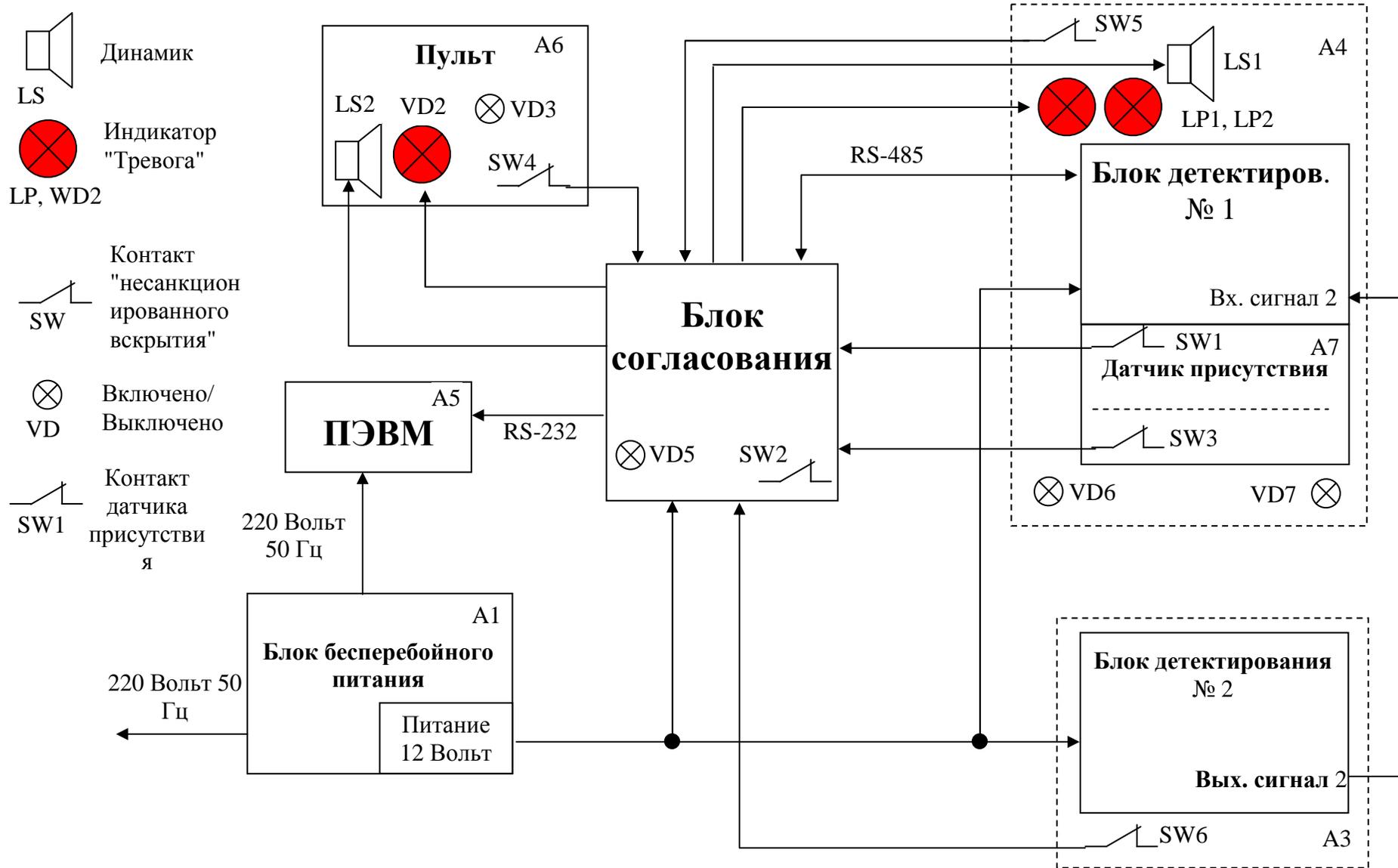


Рис. 5 Функциональная схема системы

Система включает в себя:

- блоки детектирования гамма-излучения и нейтронов БДМГ-1;**
- блок питания;**
- блок согласования;**
- датчик присутствия контролируемого объекта в контролируемом пространстве;**
- элементы индикации и сигнализации;**
- пульт контролера.**

Гамма- нейтронные детекторы осуществляют преобразование энергии излучения в электрические сигналы, обрабатываемые затем контроллером.

Основные блоки и устройства системы размещены в стойках, выполненных в виде одинаковых шкафов, обеспечивающих размещение электронных блоков и защиту их от внешних воздействий. Стойки объединены в жесткую конструкцию с помощью верхней стяжки.

Система может работать в трех режимах:

- режим «скользящего среднего»;**
- режим фиксированного порога;**
- режим по «сенсору» – с использованием датчика присутствия.**

Задача обнаружения решается как с использованием полной скорости счета, т.е. для всего диапазона регистрируемых энергий, так и независимо, по четырем энергетическим окнам 30–300, 300–1000, 1000–1300, 1300–3000 кэВ. Это дало возможность повысить чувствительность системы при обнаружении конкретных источников излучения, а также тип изотопа по идентификации окна, где произошло обнаружение (в случае обнаружения одного типа изотопа). Кроме этого, отдельно, решается задача обнаружения в диапазоне энергий 30–300 кэВ, что дало возможность идентификации нейтронов и делящихся ядерных материалов.

Табл. 2. Сравнительные характеристики пешеходной системы обнаружения "Портал-П" и аналогичных систем на основе органических сцинтилляторов.

Условное обозначение прибора	Активность γ -источника, мкКи			Массы ядерных материалов, г				Чувств. дет. нейтронов имп·сек ² /нейтрон	Вес детект., кг
	⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	²³⁵ U	²³⁸ U	²³⁹ Pu	²³⁹ Pu+Be, (4 см Pb)		
PM-5000-07 'Полимастер'	60	0,8	0,8	30	125	0,6	2-3	350	70
'Янтарь-1 П'	–	1,1	1,5	12,5	100	0,36	26	350	200
'Портал-П'	7	0,76	0,38	9	12	0,02	0,9	500	1,5
TSA PM-700AGN	–	–	–	10		1	120	–	273

Пешеходный вариант "Портал"-с детектором на основе оксидного сцинтиллятора практически не уступает по чувствительности системам-аналогам, но существенно (~ в 10 раз) более чувствителен к трансурановым материалам.

Использование сцинтилляционного кристалла вольфрамата кадмия в предлагаемой системе позволило при сохранении высокой чувствительности в диапазоне средних и высоких энергий (0,3–3 МэВ для ^{137}Cs , ^{60}Co) существенно повысить чувствительность в диапазоне малых энергий (0,03–0,3 МэВ).

Повышение чувствительности в диапазоне малых энергий (0,03–0,3 МэВ) привело, в свою очередь, к значительному (в 10–100 раз) понижению пороговых значений обнаружения масс ядерных материалов и к повышению чувствительности системы к нейтронному излучению.

Выводы.

1. Разработаны, изготовлены и испытаны гамма-нейтронные детекторы, использующие новый способ регистрации быстрых нейтронов, основанный на использовании механизма неупругого рассеяния в материале неорганических сцинтилляторов.

2. Пешеходный вариант системы обнаружения, использующий детекторы на основе неорганического нейтронно-чувствительного сцинтилляционного детектора практически не уступает по чувствительности обнаружения γ -источников средних и высоких энергий (^{137}Cs , ^{60}Co) и нейтронов и существенно, (~ в 10–100 раз) более чувствителен к трансураниевым материалам.

3. Малые габариты и вес детекторов позволяют монтировать подобные системы скрытно, что очень важно для обеспечения антитеррористических мероприятий.

4. Повышение чувствительности в диапазоне малых энергий привело в свою очередь к значительному (10–100 раз) понижению пороговых значений обнаружения масс ядерных материалов.

5. Одновременное использование детектора на основе CdWO_4 в качестве датчика нейтронного излучения показало, что он с успехом заменяет дорогостоящие детекторы нейтронов, использующие ^3He -пропорциональные счетчики.