

U-235



Никита ЛОМАКИН, начальник лаборатории электронной техники АО «НПК «Дедал»

Вячеслав МИХАЙЛЕНКО, ведущий инженер-электроник лаборатории электронной техники АО «НПК «Дедал»

В настоящее время в связи с нарастанием террористических угроз повышается значимость систем дистанционного (бесконтактного) обнаружения запрещенных к проносу предметов и веществ, в том числе, систем обнаружения радиоактивных веществ и материалов, устанавливаемых на пешеходных контрольно-пропускных пунктах (метро, аэропорты, особо важные объекты и пр.)

Для обнаружения ядерных материалов (ЯМ) и радиоактивных веществ (РВ) используются специальные *системы радиационного мониторинга (СРМ)*, принцип действия которых основан на регистрации ионизирующего излучения (гамма или нейтронного) от проносимых предметов. Регистрация и анализ ионизирующего излучения в СРМ осуществляется путем сравнения излучения от контролируемого предмета с уровнем фонового излучения в месте применения без непосредственного измерения численного значения какой-либо характеристики излучения. При этом система не определяет тип или количество радиоактивного материала, а только факт кратковременного превышения «фона». Приоритетными параметрами СРМ являются:

- высокая чувствительность к изменению излучения;
- удобство в эксплуатации;
- наглядность и отображение результата;
- хорошая эргономика.

## Современные комбинированные системы радиационного мониторинга

В России и за рубежом изготавливаются СРМ различных типов, отличающихся конструктивным, технологическим и схемотехническим исполнением, достигаемыми тактико-техническими характеристиками. Наиболее широкое распространение получили пешеходные СРМ, основанные на регистрации гамма-излучения. Пороги обнаружения по гамма-излучению применительно к массе ядерных материалов, устанавливаются в соответствии с ГОСТ Р 51635-2000, согласно критериям, приведенным в таблице 1.

Таблица 1. Требования к массе обнаруживаемых ЯМ по ГОСТ Р 51635-2000

Категория СРМ (гамма – канал обнаружения)	Значение порога обнаружения, г	
	Тестовый образец из плутония Pu-239	Тестовый образец из урана U-235
I Пү	0,03	1
II Пү	0,10	3
III Пү	0,30	10
IV Пү	1,00	64

При использовании СРМ следует учитывать тот факт, что гамма-излучение РМ, проносимого через КПП, может быть снижено (экранировано) путём помещения его в защитный металлический контейнер. В качестве материала контейнера наиболее вероятными (из-за доступности) считается свинец или сталь.

Таблица 2. Кратности ослабления гамма-излучения контейнером

Кратность ослабления	Источник гамма излучения U-235		Источник гамма излучения Pu-239	
	Толщина стенки стального контейнера, мм	Толщина стенки свинцового контейнера, мм	Толщина стенки стального контейнера, мм	Толщина стенки свинцового контейнера, мм
1,2	3,6	0,4	5,7	0,8
1,5	8,4	1,0	14,0	2,0
1,8	10,8	1,6	18,8	3,2
2,0	12,0	2,0	22,0	4,0

В таблице 2 приведены кратности ослабления гамма-излучения ЯМ в зависимости от толщины стенки контейнера. При использовании контейнера даже с относительно небольшой толщиной стенки (например, по свинцу 2-4 мм) происходит ослабление потока гамма-излучения в 2 раза и, как следствие, недопустимая потеря эффективности СРМ при обнаружении РВ или РМ.

Вероятность обнаружения РМ радиационным каналом СРМ можно оценить по формуле

$$P_{PM} = (1 - P_{MK}) \cdot P_{P1} + P_{MK} \cdot P_{P2}$$

где  $P_{MK}$  – вероятность того, что перемещение радиоактивного материала осуществляется в металлическом контейнере, соответственно  $(1 - P_{MK})$  – вероятность того, что перемещение осуществляется без контейнера;

$P_{P1}$  – вероятность обнаружения радиационного канала СРМ при перемещении РМ без контейнера;

$P_{P2}$  – вероятность обнаружения радиационного канала СРМ при перемещении РМ в металлическом контейнере;

Например, если  $P_{P1} = 0,95$ ,  $P_{P2} = 0,75$ ,  $P_{MK} = 0,5$ , то вероятность обнаружения радиационного канала составляет  $P_{PM} = 0,85$ , что в некоторых случаях является неудовлетворительным.

В силу вышесказанного, для надёжного обнаружения РМ, в том числе перемещаемых в защитных металлических контейнерах, применяются *комбинированные* СРМ, имеющие каналы регистрации:

- гамма-излучения;
- металлических предметов.

Наиболее востребованы комбинированные СРМ арочного типа. Технические характеристики такого типового изделия приведены в таблице 3.

В комбинированной СРМ решение об обнаружении запрещенных к проносу ЯМ и РВ принимается при срабатывании любого из каналов регистрации: гамма-излучения (радиационный канал) или металлических предметов (металлоискатель). Здесь используется логика комбинирования «или», и в этом случае вероятность

Таблица 3. Технические характеристики типовой комбинированной СРМ

Характеристика	Значение
Вероятность обнаружения, не менее	0,95
Категория радиационного монитора по ГОСТ Р 51635-2000	III Пу / IV Пу в зависимости от исполнения
Пропускная способность изделия, чел/ч, не менее	800
Минимальная обнаруживаемая масса металла, г, не менее	20 по ГОСТ Р 53705
Типы обнаруживаемых металлов	черные, цветные
Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха, °C	-20 ... +50
Степень защиты, обеспечиваемая оболочкой от доступа к опасным частям, попадания внешних твердых предметов и воды по ГОСТ 14254	IP 65
Обнаружение металлов	Черные \ цветные \ любые

обнаружения такой комбинированной СРМ оценивается по формуле:

$$P_O = (1 - P_{MK}) \cdot P_{P1} + P_{MK} \cdot (P_{P2} + P_{MO} - P_{P2} \cdot P_{MO}),$$

где  $P_{MO}$  – вероятность обнаружения металлического контейнера магнитным каналом комбинированной СРМ.

Например, если  $P_{P1} = 0,95$ ,  $P_{P2} = 0,75$ ,  $P_{MK} = 0,5$ ,  $P_{MO} = 0,95$ , то для вероятности обнаружения комбинированной СРМ получим  $P_O = 0,97$ , что даже выше исходной вероятности обнаружения  $P_{P1}$ . Это указывает на предпочтительное использование комбинированной СРМ по сравнению с системой, где отсутствует металлоискатель. Радиационный канал (РК) типовой комбинированной СРМ состоит из блока обработки (БО) и от 2 до 4 блоков детектирования (БД) гамма-излучения, осуществляющих непрерывную регистрацию и преобразование ионизирующего излучения в электрический сигнал для дальнейшей обработки информации на БО. Блоки детектирования встраиваются в боковые панели пешеходного арочного монитора СРМ и образуют зону обнаружения, соответствующую III Пу или IV Пу категории по ГОСТ Р 51635-2000. Чем больше блоков, тем выше чувствительность изделия к РМ или ЯМ. Типично, 2 или 4 блока достаточно для выявления наличия ЯМ или РВ.

Материалом детектора БД обычно является вещество – сцинтиллятор, которое может быть как органическими, так и неорганическими. Сцинтилляторы на базе *неорганических монокристаллов* – классические детекторы и используются при регистрации гамма- и рентгеновского излучения и считаются вне конкуренции при регистрации малых потоков частиц (малого излучения). Наиболее распространенным сцинтиллятором являются монокристаллы йодистого цезия, активированные таллием  $CsI(Tl)$ . В качестве неорганических детекторов гамма-излучения применяются также неорганические сцинтилляторы типа NaI (Tl), CsI(Tl), BaF<sub>2</sub>, BGO. Детекторы на базе *неорганических монокристаллов CsI(Tl)* обладают сравнительно малыми массой и габаритами и повышенной чувствительностью.

Сцинтилляционные детекторы на базе *органических монокристаллов* изготавливаются из полиморфного стирола, винилтолуола и винилсилола с различными люминесцентными добавками – бензола, оксазола и пр. *Органические* по сравнению с неорганическими имеют меньший световыход, большие массо-габариты, имеют худшее энергетическое разрешение.

В процессе работы детекторы радиационного канала осуществляют непрерывную регистрацию ионизирующего излучения и ее преобразование в электрические сигналы. Сигналы поступают в блок обработки, где принимается решение об обнаружении ЯМ или РВ. Чувствительность радиационного канала максимальна в проеме арки и монотонно убывает при удалении от нее.

В основу работы *электромагнитного канала обнаружения (металлоискателя)* положен вихрековый принцип обнаружения проводящих сред (металлов). С помощью генераторных катушек, расположенных в боковых панелях портала, в зоне прохода создается переменное электромагнитное (импульсное, гармоническое) поле. Под действием этого поля в металлическом предмете наводятся вихревые токи Фуко, создающие вторичное электромагнитное поле, которое регистрируется с помощью приемных катушек, также размещенных в панели. Параметры полезного сигнала зависят от характеристик предмета — массы и габаритов, типа металла, конфигурации в пространстве и т.д. В составе СРМ применяется *инфракрасный канал регистрации (ИКР)*, выполняющий функцию датчика присутствия, позволяющий надежно регистрировать факт прохода человека через проем арки портала. Типично такой канал реализуется в виде активного ИК-детектора, состоящего из излучателя и приемника, расположенных в панелях портала по обе стороны.

ИК-излучатель формирует «узкое» ИК-излучение от одной боковой панели к другой через проем, а ИК-приемник преобразует излучение в электрический сигнал логической «1», поступающий в блок обработки. При проходе через проем портала, человек перекрывает ИК-луч. Излучение прерывается, выдается сигнал логического «0».

ИКР используется для локализации зоны обнаружения строго в проеме арки прибора и для повышения помехоустойчивости СРМ в целом.

Примеры комбинированных пешеходных СРМ арочного (портального) типа показаны на рисунке 1.

Портальная конструкция комбинированной СРМ изготавливается по современным технологиям с использованием композитных материалов, например, с помощью вакуумной формовки боковых панелей из пластика, стойкого к ультрафиолету. Устойчивость к воздействию внешних факторов достигается, в том числе, благодаря армированию внутренних поверхностей панелей стекловолокном. Использование закладных элементов из современных материалов позволяет обеспечить эксплуатационные характеристики в расширенном температурном диапазоне от



Рисунок 1. Примеры комбинированных систем радиационного мониторинга, слева направо: «Спектр» — АО «НПК «Дедал» МО, METOR 6E — Rapiscan Systems USA, IntelliMAX — АО «СНТ» г. Москва.

– 20 до +50 °С, снизить себестоимость, обеспечить класс защиты IP65, повысить конкурентоспособность на рынке досмотровой техники.

Технические характеристики комбинированных досмотровых систем различных производителей, совмещающих радиационный монитор и металлообнаружитель различных производителей представлены в таблице 4.

Описанные комбинированные системы досмотра находят применение:

- на объектах министерства обороны и других силовых структур;
- на объектах атомной энергетики;
- на объектах транспортной инфраструктуры;
- в местах проведения массовых мероприятий (выставки, стадионы, концертные залы и т.д.).

Современные пешеходные системы обнаружения запрещенных предметов и веществ совершенствуются и могут быть объединены в единый досмотровый комплекс, основанный на различных физических принципах обнаружения. Непрерывный радиационный мониторинг в местах прохода людей через КПП объектов существенно повышает эффективность систем физической защиты, играет важную роль в противодействии ядерному и радиационному терроризму. Область применения комбинированных СРМ постоянно расширяется, и спрос на них растет. ☒

Таблица 4. Технические характеристики комбинированных досмотровых систем различных производителей

Модель	Производитель	Селекция металла по магн. свойствам	Тип детектора	Класс обнаружения по ГОСТ Р 51635, Пч	Темп. диапазон экспл., °С	Особенности (опции)	Степень защиты оболочки
Спектр	АО «НПК «Дедал» МО	+	Неорган.	III, IV	-20... +50	Замок, пароль, интеграция в СКУД, наличие «сухих» конт.	IP65
METOR 6E	Rapiscan Systems, USA	-	Орган.	IV	-20... +60	Дистанционное управление, автономн. пит., замок/пароль	IP55
SmartScan IntelliMax	АО «СНТ» г. Москва	-	Орган.	IV	-20... +55	Классиф. ЯМ и РВ по степени опасности, автономн. пит	IP65
Ореол-РК	АО ФЦНИВТ СНПО «Элерон» г. Москва	+	Орган.	III, IV	5... +40	Замок, пароль, интеграция в СКУД, наличие «сухих» конт.	IP30
АГАТ	ЗАО НПЦ «Аспект» г. Дубна	-	Орган.	IV	0... +40	Дистанционное управление, автономн. пит., замок/пароль	IP30

<sup>1</sup> Металлообнаружитель арочный с системой радиационного мониторинга «Спектр» включен в реестр инновационной продукции Московской области.