

УДК 537.531

Коллимированный спектрально-чувствительный детектор для дистанционного поиска пятен радиоактивного загрязнения

ВОЛКОВИЧ А. Г., ЛИНКОНОВ В. И., ЛОБАНОВСКИЙ Д. А., СМЕРНОВ С. В., СЕНАПОВ В. Е., ТЮРИН А. С., УРУЦКОВЕВ Л. И.,
ФИЛИППОВ Д. В., ЧЕСНОКОВ А. В.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. произошел выброс в атмосферу радиоактивных веществ, приведший к загрязнению значительной территории на севере Украины и юго-востоке Белоруссии. С этого же времени начаты работы по определению размеров загрязненных площадей и уровней этого загрязнения. Уже первые измерения показали неравномерность распределения радиоактивных веществ по территории. Пятна радиоактивного загрязнения разной плотности имеют размеры от сотен метров до нескольких километров. Однако внутри таких больших загрязненных поверхностей есть и гораздо меньшие (десятки метров), возникшие в результате географических особенностей местности, природных воздействий (дождь, ветер и т. п.) и деятельности человека. Такое резко неравномерное распределение радиоактивных веществ создает значительные трудности при проведении дезактивационных работ, необходимых для нормализации экологических условий жизни и деятельности людей. В настоящее время анализ радиационной обстановки и составление картограмм распределения радиоактивных веществ проводится с помощью стандартных дозиметрических приборов и методами измерения поверхностной плотности активности аппаратурой с вертолета, а также методами лабораторного анализа проб [1]. Измерения с вертолета позволяют обследовать большие площади с пространственным разрешением около 100—300 м. Однако метод проб занимает длительное время, т. е. не может быть использован для оперативного контроля на местности при оценке результатов дезактивационных работ в населенных пунктах. При дезактивационных работах и их контроле, особенно в населенных пунктах, стандартные дозиметрические приборы не позволяют опре-

делить вклад в мощность эквивалентной дозы $\dot{X}$ различных источников (почвы, стен зданий, крыш, деревьев и т. п.).

На основе опыта дезактивационных работ на Чернобыльской АЭС разработан коллимированный спектрально-чувствительный детектор (КСД) [2]. Прибор позволяет дистанционно и оперативно измерять на местности плотность поверхностной активности q распределенных в пространстве источников с известным изотопным составом и определять их вклад в $\dot{X}$ в заданной точке.

Принцип действия прибора основан на регистрации потока фотонов с определенного направления в телесном угле Ω раствора коллиматора. При этом поток пропорционален усредненной по полю зрения прибора q , видимой в данный телесный угол Ω [3]:

$$N = Aq\Omega/\cos\vartheta,$$

где N — показания прибора (за вычетом фоновых сигналов); A — калибровочный коэффициент; ϑ — угол между осью коллиматора и перпендикуляром к обследуемой поверхности.

Прибор установлен на автомобиле. Он состоит из блока детектирования, телекамеры, пульта управления, измерительного пульта и видеомонитора. Блок детектирования и телекамера установлены на поворотном устройстве так, чтобы поле зрения коллиматора блока детектирования совпадало с полем зрения телекамеры. Блок детектирования с телекамерой и поворотным устройством установлен на автомобиле для обеспечения обзора исследуемой поверхности. Поворотное устройство обеспечивает дистанционное (с пульта управления) наведение коллиматора и телекамеры на исследуемую поверхность в пределах изменения угла в вертикальной плоскости $180^\circ \pm 1^\circ$, в горизонтальной — $320^\circ \pm 1^\circ$. Блок детектирования

(рис. 1) предназначен для регистрации фотонов с определенного направления и передачи соответствующего электрического сигнала по длинной кабелю. Блок состоит:

из защиты, обеспечивающей ослабление потока падающих на сцинтиллятор фотонов энергией 660 кэВ не менее чем в 500 раз для любого направления [4];

коллиматора с углом коллимации $\alpha = 15\text{--}20^\circ$. Угол коллимации и толщина свинцовой защиты детектора выбирались так, чтобы полезный сигнал был не менее фонового, проходящего через защиту при условии равномерности потока фотонов во всех направлениях. При толщине защиты 6 см оптимальный угол коллимации равен 15° . Для увеличения полезного сигнала при сохранении массы защиты и пространственного разрешения использовался «сетчатый» коллиматор. В случае, когда требовалось увеличить рабочую площадь сцинтиллятора, применяли другую конструкцию большей чувствительности при угле коллимации 20° ;

сцинтиллятора CsI (Tl) [5], фотоэлектронного усилителя с делителем и согласующим устройством для передачи импульсов по кабелю длиной ~ 30 м. Измерительный пульт счета импульсов предназначен для определения интенсивности и энергетического спектра фотонов. В основе пульта — анализатор импульсов с амплитудной дискриминацией. Интенсивность измеряли до $3 \cdot 10^5$ имп./мин ($5 \cdot 10^3$ имп./с) по стрелочному прибору или до $1 \cdot 10^4$ имп. за время экспозиции не менее 0,1 мин при цифровом измерении. Измеряемый диапазон энергии фотонов 50 кэВ — 1,5 МэВ. Диапазон измерения поверхностной плотности активности $5 \cdot 10^{-5}$ — 0,15 Ки/м². Оптимальную высоту, на которой должен располагаться прибор, определяли из условия возможности осмотра наибольшей области поверхности, причем площадь видимого пятна не должна превышать S_0 . Также нашли значения углов Φ , позволяющих осмотреть всю допустимую область без наложений.

Рассмотрим устройство, имеющее угол коллимации α и расположенное на высоте H (рис. 2). Угол между осью коллиматора и вертикалью — ϑ . Расстояние l по горизонтали от точки, над которой находится прибор, до центра видимого пятна равно $l = H \operatorname{tg} \vartheta$. Площадь пятна

$$S = \pi (H^2 + l^2) \operatorname{tg}^2 (\alpha/2) / \cos \vartheta = \pi H^2 \operatorname{tg}^2 (\alpha/2) / \cos^3 \vartheta.$$

Если S меньше S_0 , то максимальное расстояние

$$l_{\max} = H \operatorname{tg} \vartheta_{\max}; \quad \cos \vartheta_{\max} = (\pi H^2 \operatorname{tg}^2 (\alpha/2) / S_0)^{1/3};$$

$$l_{\max} (H) = H (|S_0 H^{-2} \operatorname{tg}^2 (\alpha/2) / \pi|^{2/3} - 1)^{1/2}.$$

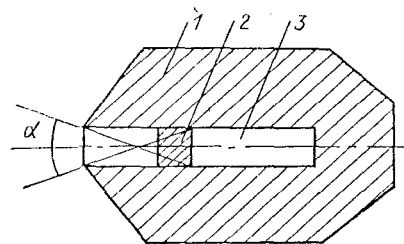
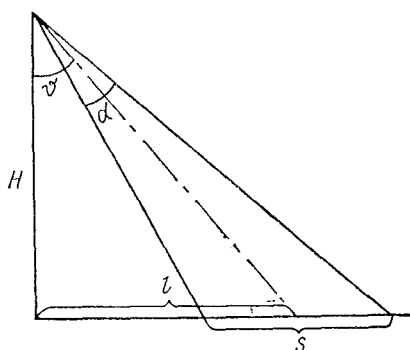


Рис. 1. Схема блока детектирования: 1 — защита; 2 — сцинтиллятор; 3 — фотоэлектронный умножитель; α — угол коллимации



Р и с. 2. Схема для расчета оптимальных параметров расположения прибора

Исследовав на максимум эту функцию, получили оптимальную высоту H_0 , на которой должен находиться прибор, чтобы осмотреть максимальную площадь:

$$H_0 = (1/3)^{3/4} (S_0/\pi)^{1/2} / \lg(\alpha/2).$$

Например, для прибора, имеющего угол коллимации 15° и разрешение 10 м, оптимальная высота составляет 17,7 м.

Испытания прибора проводились в Чернобыле и Полесском районе Киевской области в июне — августе 1989 г. Одновременно с измерениями коллимированным спектрально-чувствительным детектором в отдельных точках исследуемой местности брали по две стандартные (диаметром 14 и толщиной 5 см) пробы грунта, анализ которых провели в лабораториях Оперативной группы Госкомгидромета и Научного центра МО СССР в Чернобыле. Этот анализ показал, что по изотопному составу радиационная обстановка определяется в основном ($> 90\%$) фотонами энергией 0,6—0,8 МэВ, т. е. $q^{137}\text{Cs}$ и ^{134}Cs . Поэтому при проведении натурных испытаний прибором регистрировались лишь фотоны указанной энергии, т. е. определялась q данных изотопов. Для сравнения с методикой, разработанной Научным центром МО СССР, одновременно замеряли X в этих и других точках.

Результаты измерений (см. таблицу) показали, что прибор может надежно (с точностью 30%) и оперативно (за 18 с) непосредственно на месте измерять среднюю по кругу диаметром 1,5—7 м $q > 15$ Ки/км² и находить наиболее загрязненные участки поверхности земли и строения в круге диаметром 60 м. Наблюдаемое в 1,5 раза расхождение результатов измерений КСД и методом проб объясняется значительной неоднородностью загрязнения в местах взятия проб.

Таким образом, использование коллимированного спектрально-чувствительного детектора позволяет измерить распределение плотности поверхностной активности, составлять карты радиоактивного загрязнения поверхностей, определять вклад в мощность эквивалентной дозы различ-

Результаты измерений q различными методами, Ки/км²

Точка измерения	КСД	Оперативная группа Госкомгидромета Чернобыли			Научный центр МО СССР		
		q_1	q_2	$\bar{q}$	q_1	q_2	$\bar{q}$
Стадион (Чернобыль)	18	16,5	10,5	13,5	16,7	13	14,9
Полесский р-н, дер. Жовтневое:							
точка 1	25	34	14	24	55	20	38
» 2	20	16	29	22,5	29	60	45
» 3	13	8,2	7,8	8	13	11	12
Калибровочная площадка Госкомгидромета:							
точка 1	60	101	93	97	190	90	140
» 2	190	235	217	226	440	228	334
» 3	190	246	309	278	320	430	375

ных источников (загрязненных поверхностей), идентифицировать источники радиоактивности, рассчитывать оптимальные меры улучшения радиационной обстановки при проведении дезактивационных работ. На базе предложенной схемы прибора возможно создание аналогичных систем с разными динамическими диапазонами измерения плотности поверхностной активности, которые могут использоваться для контроля радиационной обстановки на действующих АЭС, предприятиях обработки и захоронения радиоактивных отходов и т. п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alekseev I. N., Borisov G. I., Borovoy A. A. et al. Radiological survey off APP. — In: Abstracts of Intern. Conf. of Fiftieth Anniversary of Nuclear Fussion, Leningrad, USSR, October 16—20, 1989, p. 96.
2. Volkov V. G., Volkovitch A. G., Kambulov I. N. et al. Application of remote radiological detection in laboratory-applied analysis at the Chernobyl nuclear power station. — Ibid., p. 98.
3. Голубев Б. П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1976.
4. Пванов В. П. Курс дозиметрии. М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. Гори Л. С., Хазанов Б. П. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1989.

Поступило в Редакцию 05.01.90