

УДК 621.039

Применение коллимированного детектора при ликвидации последствий аварии в машинном зале 4-го энергоблока АЭС

ВОЛКОВИЧ А. Г., КОБА Ю. В., ЛИКСОНОВ В. И., СМЕРНОВ С. В., СТЕПАНОВ В. Е., ТЮРИН А. С., УРУЦКОЕВ Л. И., ФИЛИЩОВ Д. В., ЧЕСНОКОВ А. В.

В 1988 г. одной из основных являлась задача укрепления стены деаэрационной этажерки, граничащей с машинным залом 4-го энергоблока и значительно пострадавшей при взрыве. Для ее решения предстояло выполнить большой объем строительно-монтажных и дезактивационных работ в условиях высокого радиационного фона. На начальном этапе мощность дозы в отдельных точках достигала ~ 200 Р/ч. Размер машинного зала 200 × 50 × 30 м, множество распределенных и точечных источников разной активности и как следствие больших градиентов мощности экспозиционной дозы (МЭД) не только затрудняло контроль радиационной обстановки традиционными методами и приводило к высокой дозовой нагрузке на персонал, но и не позволяло определить эти источники и их вклад в МЭД в каждой отдельной точке.

В настоящей работе изложена методика, которая дала возможность дистанционно измерить распределение поверхностной плотности источников ионизирующего излучения, вычислить как вклад источников в МЭД, так и суммарную во всем объеме.

Особенность радиационной обстановки в помещениях 4-го блока в том, что она обуславливается большим числом распределенных мелкодисперсных источников. Помимо радиоактивной пыли есть также высокоактивные точечные источники, но их вклад в МЭД становится существенным, как правило, только вблизи их самих. Поэтому для количественной оценки степени радиоактивного загрязнения поверхностей удобно пользоваться понятием поверхностной плотности активности. Зная ее, т.е. распределение по всем поверхностям помещения, а также геометрию последнего, можно рассчитать МЭД в любой точке данного помещения по известным формулам [1, 2]. Вследствие того, что МЭД — величина аддитивная, в заданной точке $P(x_0, y_0, z_0)$ она оценивается как сумма каждого элемента поверхностного источника

$$P(x_0, y_0, z_0) = \sum_i P_i(x_i, y_i, z_i) = \int_s \Phi/s (q/R^2) dS. \quad (1)$$

Поскольку геометрия реальных помещений сложная, целесообразно разбить поверхности на элементарные прямоугольники, каждому из которых соответствует свое усредненное по площади значение q_i . Вклад каждого такого элемента в МЭД в точке x_0, y_0, z_0 можно учесть по формуле

$$P = \frac{K_\gamma q}{K_\gamma (Ra)} \left[\Phi \left(\frac{H}{x+a}, \frac{y+b}{x+a} \right) - \Phi \left(\frac{H}{x-a}, \frac{y+b}{x-b} \right) - \Phi \left(\frac{H}{x+a}, \frac{y-b}{x+a} \right) + \Phi \left(\frac{H}{x-a}, \frac{y-b}{x-a} \right) \right],$$

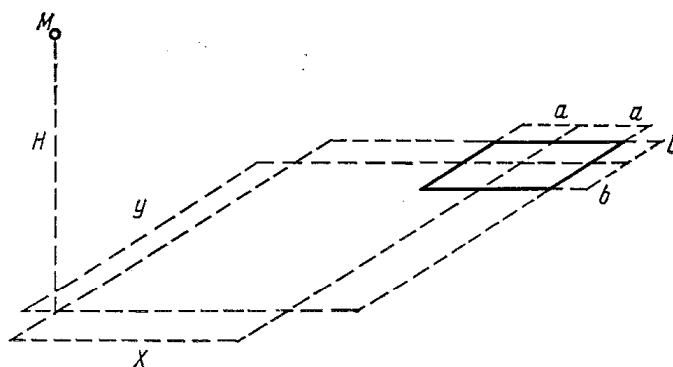
где K_γ — эффективная γ -постоянная для данного изотопного состава; q — поверхностная плотность активности, Ки/м²; a, x, y, b, H показаны на рис. 1;

$$\Phi(m, n) = K_\gamma (Ra) \int_0^n m/(1+a^2m)^{1/2} \arctg m/(1+a^2m)^{1/2} da -$$

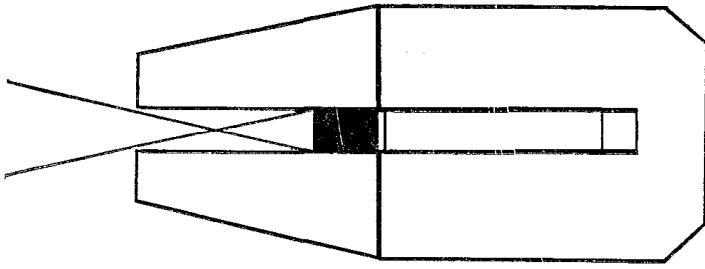
функция, не выражаемая через элементарные, но хорошо известная и затабулированная [1].

В тех случаях, когда расстояние до источника $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ больше его размеров a и b , его можно заменить круглым, для него МЭД определяется выражением

$$P = \pi q K_\gamma \ln H^2 + C^2 + R^2 + \sqrt{C^4 + 2C^2(H^2 - R^2) + (H^2 + R^2)^2} / 2H^2, \quad (2)$$



Р и с. 1. Схема расчета



Р и с. 2. Схема блока детектирования

где H — расстояние между плоскостью крыши или пола и плоскостью, где измеряется МЭД; C — радиус пятна активности; R — расстояние между центром пятна активности и основанием перпендикуляра, опущенного из точки наблюдения на плоскость пятна активности.

Определим ошибку при замене квадратного источника круговым с той же поверхностной плотностью активности и площадью. Рассмотрим квадрат $d \times d$ плотностью активности q , находящийся на расстоянии R от детектора, и круг радиусом $r = d/\sqrt{\pi}$ с той же плотностью активности. Различие $\Delta P/P$ связано с перемещением источников, находящихся вне области пересечения квадрата и круга,

$$\Delta P/P \leq \Delta Q/Q (d/R)^2 (3/4);$$

$$\Delta Q/Q < 1/2 (1 - \sqrt{(4/\pi) - 1})^2 < 0,12;$$

т.е. ошибка, возникающая при замене квадрата кругом, $\Delta P/P \leq 0,09 (d/R)^2$, что значительно меньше погрешности измерения МЭД стандартными дозиметрическими приборами. Для $d \simeq R$ ошибка, возникающая при замене квадрата кругом, не более $\Delta P/P \leq (1/2) \Delta S/S [(R^2/R_{\min}^2) - 1]$. Так как $R \simeq \sqrt{R_{\min} R_{\max}}$ и $R_{\max} < d\sqrt{2}$, то $\Delta P/P \leq (\Delta S/S) (d/R_{\min}) (1/\sqrt{2})$ или $(\Delta P/P) \leq 0,1 (d/R_{\min})$.

Вследствие громоздкости расчетов была разработана вычислительная программа, позволяющая на ЭВМ оперативно получать карты распределения мощности дозы во всем объеме помещения.

Таким образом, суммируя по всем поверхностям, можно по формулам (1), (2) вычислить МЭД в данной точке, а ограничив суммирование некоторой областью, — определить вклад этой области в МЭД в данной точке. Геометрия помещений, как правило, известна, а распределение: поверхностной плотности активности как раз и является той физической величиной, которую необходимо измерять. Для таких измерений требуется прибор, регистрирующий поток γ -квантов из телесного угла Ω . При этом мощность потока γ -квантов пропорциональна поверхностной плотности, усредненной по видимой в данный телесный угол Ω поверхности. Такой прибор дистанционно измерения распределения и был разработан [3].

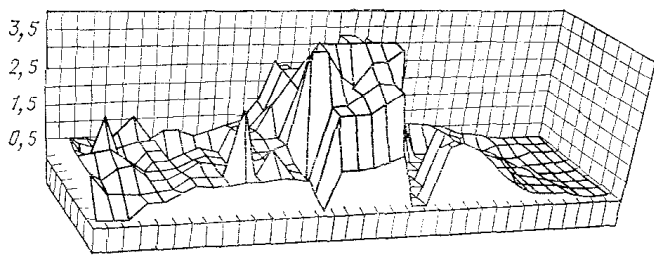
Прибор состоит из защитного свинцового контейнера с размещенным в нем детектором γ -кван-

тов (рис. 2) и измерительного блока. Контейнер с коллиматором телесным углом Ω установлен на поворотном устройстве, позволяющем последовательно исследовать полный телесный угол 4π . Толщина стенок контейнера определяется углом коллимации и требуемым отношением полезного сигнала к фону [4]. В условиях проведения реальных измерений коллимированный детектор регистрирует широкий спектр γ -квантов. Лабораторным спектрометрическим анализом проб, взятых с основных мест распределения источников, установлено, что основной вклад в поток вносят γ -кванты энергией 0,6 — 0,8 МэВ [5]. Абсолютную калибровку детектора, т.е. связь показаний прибора со средней поверхностной плотностью активности, проводили на источнике γ -квантов аналогичного спектрального состава. Тогда $N = Aq\Omega/\cos \vartheta$ [6], где N — показания прибора (за вычетом фонового сигнала); A — калибровочный коэффициент; ϑ — угол между осью коллиматора и перпендикуляром к обследуемой поверхности.

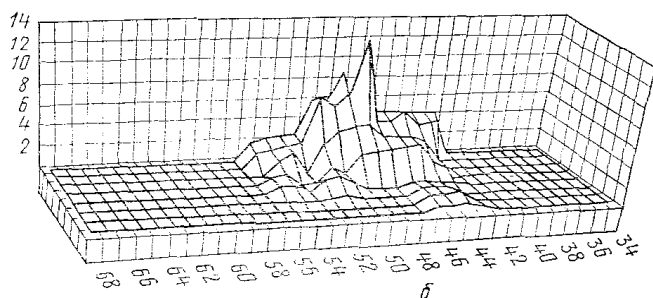
Для дополнительного контроля погрешности измерения и методики сравнивали МЭД в точке установки прибора, определенную стандартными дозиметрическими приборами и рассчитанную по данным коллимированного детектора с полным телесным углом 4π . Очевидно, что оба этих значения должны быть равны. Такой контроль всегда давал равенство с погрешностью не более 30 %, типичной для стандартных дозиметрических приборов.

Измерения поверхностной плотности активности по полному телесному углу 4π в условиях, когда расстояние до источника известно, например, в ограниченных замкнутых помещениях, позволяют составить полные карты ее распределения по поверхностям данного помещения. Первичные результаты измерений для получения карты распределения сначала обрабатывали вручную. Однако это трудоемкий процесс, требующий значительных временных затрат. Поэтому была разработана программа для ЭВМ.

При проведении работ в машинном зале карты распределения поверхностной плотности активности снимали неоднократно. Формула (1) справедлива, если размер помещения d меньше длины пробега γ -кванта в воздухе λ ($d < \lambda$). Поскольку размеры машинного зала сравнимы с пробегом γ -квантов энергией 600—700 кэВ в воздухе, для того чтобы можно было пренебречь рассеянием γ -квантов в воздухе, а также для увеличения пространственного разрешения при составлении карт распределения поверхностной плотности активности вначале с нескольких точек снимали угловые распределения потока γ -квантов, а затем рассчитывали карты распределения по всем измерениям со всех точек. Измерения одной области с разных точек давали хорошее ($\sim 5\%$) соответствие. Кроме того, по мере изменения дозовой обстановки проводили текущие измерения.



а



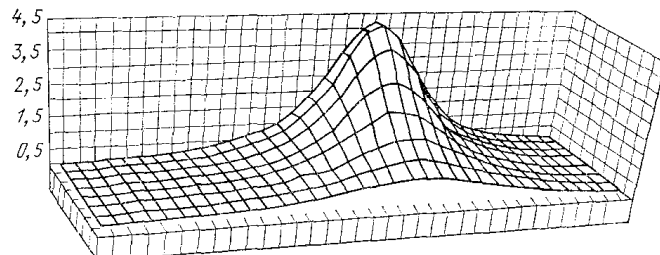
б

Р и с. 3. Карта распределения поверхностной плотности активности ($Kи/м^2$) по крыше (а) и на отм. 12 (б) по состоянию на май 1988 г.

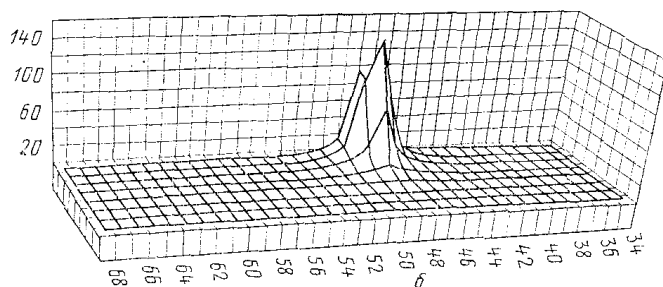
Суммарная активность на крыше машинного зала до начала работ по оценкам составляла $\approx 8 \cdot 10^3$ Ки и была распределена равномерно по ширине. По длине увеличение поверхностной плотности активности наблюдали между осями 48—50, где общая активность $\approx 3,5 \cdot 10^3$ Ки. Затем она почти равномерно спадает к границам крыши, т.е. к осям 35 и 68 (рис. 3, а).

Из карты распределения поверхностной плотности активности, показанной на рис. 3, б, видно, что активность по полу (отм. 12) распределена неравномерно. Есть четко выраженное «горячее» место. Оно находится в области завала на оси 47. Средняя плотность в этом месте ~ 25 Ки/м².

Далее по описанной методике рассчитывали МЭД. Ее значения давали хорошее согласие (не хуже 30 %) с МЭД, измеренной в соответствующих точках стандартными дозиметрическими приборами. Кроме того, отдельно вычисляли вклад МЭД крыши и пола, чтобы оценить их удельный вклад в различных точках машинного зала. При анализе данных получено, что МЭД, обусловленная крышей, в 1 м от пола составляла $\approx 1,4$ Р/ч на оси 50—51 и спадала к границе машинного зала (оси 38 и 63) до $\approx 1,2—0,5$ Р/ч. Вклад от пола в МЭД на крыше незначителен (≤ 10 %). В дальнейшем приняли решение вначале дезактивировать крышу. Были проведены дополнительные расчеты, прогнозирувавшие радиационную обстановку в случае тех или иных действий. Например, рассчитаны вклад горячего места в МЭД на крыше (рис. 4, а) и полу (рис. 4, б) при условии параллельного переноса 70 % активности крыши на пол. Совпадение прогнозируемых значений с реализовавшимися на практике было хорошим (≤ 30 %).



а



б

Р и с. 4. Вклад (Р/ч) горячего места в МЭД на крыше (а) и полу (б) в предположении параллельного переноса 70% активности крыши на пол по состоянию на май 1988 г.

Таким образом, использование этой методики показало, что она позволяет составлять карты распределения поверхностной плотности активности, суммарную МЭД или МЭД в любой заданной точке, оценивать вклад различных источников в МЭД, прогнозировать ее колебания в зависимости от запланированного или случайного изменения поверхностной активности в любом месте.

Преимущество метода и в том, что расчеты, моделирование различных вариантов, выбор оптимальных путей происходят без облучения персонала. Реально облучение лишь при снятии углового распределения потока, но данная методика дает меньшие (в сотни раз) по сравнению с традиционными дозовые нагрузки на персонал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Н. Г., Ковалев Е. Е., Осанов Д. П., Попов В. И. Защита от излучения протяженных источников. М.: Госатомиздат, 1961.
2. Иванов В. И. Курс дозиметрии. М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Volkov V. G., Volkovitch A. G., Kambulov I. N. e.a. Device for producing gamma-images («Gamma-Visor»).— Abs. Intern. Conf. «Fiftieth Anniversary of Nuclear Fission. Leningrad, October, 16—20, 1989, p. 99.
4. Volkov V. G., Volkovitch A. G., Kambulov I. N. e.a. Application of remote radiological detection in laboratory-applied analysis at the Chernobyl nuclear power station.— Ibid., p. 98.
5. Alekseev I. N., Borisov G. I., Borovoy A. A. e.a. Radiological survey off APP.— Ibid., p. 96.
6. Голубев Б. П. Дозиметрия и защита от понижающих излучений. М.: Атомиздат, 1976.