

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mc Gregor M.N. Linear accelerators as radioisotopes producers. — *Nucleonics*, 1957, v. 15(1), p. 176—180.
2. Горенко А.Ф., Инопин Е.В., Северин Н.Ф., Сторишко В.Е. Некоторые вопросы производства изотопов без носителей на линейных ускорителях электронов. — *Вопросы атомной науки и техники. Сер. Общая и ядерная физика*, 1981, вып. 2(16), с. 62—64.
3. Ганжа А.П., Давыдов М.Г., Шварцман Н.Е. Возможности производства кобальта-57 на электронных ускорителях. — *Изотопы в СССР*, 1986, вып. 2(71), с. 13—16.
4. Давыдов М.Г., Марескин С.А. О возможности получения ^{99}Mo и ^{99m}Tc на ускорителях электронов. — *Радиохимия*, 1993, № 5, с. 91—96.
5. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Рахманов И.Б., Шварцман Н.Е. Получение радионуклидов-реперов методом фотоактивации двухфазных мишеней на тормозном излучении микротрона СТ. — В сб.: *Научно-инновационное сотрудничество. Научно-техн. конф. М., МИФИ, 2002, т. 2, с. 74—75.*
6. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Рахманов И.Б., Шварцман Н.Е. Получение радиоактивных растворов радионуклидов-реперов на тормозном излучении микротрона СТ для калибровки эффективности полупроводниковых детекторов в области энергий <120 кэВ. Тезисы докл. I Всерос. конф. «Аналитические приборы». С.-Петербург, РАН, 2002, с. 266—267.

Поступила в Редакцию 19.02.03

УДК 621.039.586

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАТНОСТИ ОСЛАБЛЕНИЯ СЛОЕМ ВОЗДУХА γ -ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ МЕСТНОСТИ

Садовников Р.Н., Фролов Д.В., Шмелев А.Е. (ЦНИИ МО РФ)

Аварийные ситуации, связанные с разгерметизацией активной зоны реактора, обуславливают образование обширных по площади районов загрязнения. Необходимость полного выявления обстановки для определения параметров загрязнения и, в первую очередь, конфигурации опасных для проживания зон требует значительного числа специализированных комплексов наземной и воздушной радиационной разведки местности.

Одним из путей сокращения времени выявления обстановки в условиях недостатка специализированных комплексов может быть ведение радиационной разведки с помощью носимых измерителей мощности дозы, например, типа МКС-01Р, размещенных на летательных аппаратах. Естественно, что суммарная погрешность измерения при этом увеличится. Однако такой подход позволит оперативно определять общее расположение опасных зон радиоактивного загрязнения местности, что обеспечит на последующем этапе более эффективное использование специализированных средств разведки.

Использование неспециализированных средств для ведения воздушной радиационной разведки требует знания кратности ослабления $K(h)$ γ -излучения слоем воздуха, равным высоте полета летательного аппарата:

$$K(h) = P(1)/P(h),$$

где $P(1)$, $P(h)$ — мощность дозы γ -излучения на высоте 1 м и h м над поверхностью земли соответственно, $P/\text{ч}$.

Значения $P(h)$ могут быть приближенно определены на основе выражения для мощности дозы от плоского изотропного источника γ -излучения в бесконечной однородной воздухоеквивалентной среде [1], преобразованного для случая сложного радионуклидного загрязнения:

$$P(h) = K_p \sum_{i,j} \frac{A_i K_{vi} K_{\gamma j} E_{ij} \sigma_{aij}}{S} \int_0^{2\pi} \int_h^{\infty} \frac{\exp(-\mu_{ij} r)}{4\pi r^2} B_d(\mu_{ij}, r) r dr d\varphi, \quad (1)$$

где $r = \sqrt{R^2 + h^2}$.

Здесь K_p — постоянная, зависящая от выбора единиц измерения; A_i — активность i -го изотопа в активной зоне реактора, Бк; K_{vi} — выход i -го изотопа из активной зоны реактора при аварии первого класса, отн. ед.; $K_{\gamma j}$ — дифференциальный квантовый выход на один распад для j -й линии i -го изотопа; E_{ij} — энергия квантов j -й линии i -го изотопа, МэВ; σ_{aij} — линейный коэффициент поглощения энергии, м^{-1} ; S — площадь радиоактивного загрязнения, м^2 ; h — высота ведения разведки, м; μ_{ij} — линейный коэффициент ослабления излучения, м^{-1} ; r — расстояние от элементарного источника излучения до точки расположения детектора излучения, м; B_d — дозовый фактор накопления; R — расстояние от точки проекции детектора излучения на поверхность до элементарного источника излучения, м.

Расчет $K(h)$ с помощью формулы (1) требует учета дозового фактора накопления для воздуха в интервале энергии 0,1—3 МэВ. Кроме того, если задаться максимальной высотой ведения разведки 300 м, то фактор накопления может определяться для расстояния, не превышающего 600 м, так как излучение радионуклидов с поверхности, ограниченной окружностью радиусом $2h$, на загрязненной местности обуславливает удельный вклад в суммарную мощность дозы, превышающий 0,95 [1].

Фактор накопления рассчитывали по формуле, удовлетворяющей выдвинутым требованиям и имеющей следующий вид:

$$B_d(E, \mu, r) = \exp[A(E)(\mu r)^{0,45} + B(E)(\mu r)^{0,8} A(E)(\mu r)^{1,2}],$$

где $A(E) = -0,131 + 0,028E^{0,8} + 0,011E^{2,2}$; $B(E) = 1,792 - 1,92E + 1,225E^{1,2}$; $C(E) = -0,315 + 0,297E - 0,185E^{1,2}$.

Формула была получена путем аппроксимации известных экспериментальных дозовых факторов накопления для широких пучков γ -излучения [1, 2].

Параметры выброса моделировали на основе справочных данных об удельной активности продуктов деления [3] и данных о выходе радионуклидов из активной зоны реактора при аварии первого класса [4, 5].

Кратность ослабления слоем воздуха γ -излучения радиоактивного загрязнения местности на следе аварийного выброса рассчитывали для кампании реактора от 10 до 720 сут и длительности выдержки топлива от 0 до 1800 сут. Результаты анализа,

проведенного для определения диапазона возможных значений кратности ослабления γ -излучения $[\min K(h), \max K(h)]$ на заданной высоте ведения радиационной разведки местности, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Диапазон $K(h)$ для разной высоты ведения разведки

Высота, м	$\min K(h)$	$\max K(h)$
50	3,26	3,36
100	5,72	6,34
150	9,2	11,16
200	14,27	19,17
250	21,66	32,53
300	32,43	54,71

Соотношение величин $\min K(h)$ и $\max K(h)$ показывает, что на фиксированной высоте кратность ослабления γ -излучения имеет слабую зависимость от кампании реактора t и длительности выдержки топлива T . Это делает возможным использование в практических расчетах $K(h)$, усредненных по t и T . Среднее $K(h)$ может быть определено, исходя из условия равенства абсолютных значений предельной положительной и предельной отрицательной погрешности приведения мощности дозы к высоте 1 м над поверхностью земли:

$$\max |\delta K(h)| = \frac{K_s(h) - \min K(h)}{\min K(h)} = - \frac{K_s(h) - \max K(h)}{\max K(h)},$$

где $K_s(h)$ — средняя для высоты h кратность ослабления γ -излучения; $\max K(h)$, $\min K(h)$ — максимальная и минимальная для высоты h кратность ослабления γ -излучения.

Выдвинутое условие обеспечивает минимальную предельную погрешность пересчета на высоту 1 м над поверхностью измеренной с борта летательного аппарата мощности дозы при отсутствии точной информации о радионуклидном составе загрязнения местности.

Преобразование этого соотношения позволяет получить выражение для $K_s(h)$:

$$K_s(h) = \frac{2 \min K(h) \max K(h)}{\min K(h) + \max K(h)}.$$

Данные табл. 2 показывают, что погрешность приведения мощности дозы, измеренной с борта летательного аппарата, к высоте 1 м от поверхности земли, обусловленная отсутствием информации о радионуклидном составе выброса, для высоты ведения разведки от 50 до 150 м составляет $\pm 10\%$. На высоте полета 300 м рассматриваемая погрешность не превышает $\pm 30\%$.

Зависимость $K_s(h)$ для высоты ведения разведки в интервале от 50 до 300 м была аппроксимирована полиномом вида $K_s(h) = a + bh + ch^3$. Коэффициенты аппроксимации таковы: $a = 2,019$, $b = 0,027 \text{ м}^{-1}$, $c = 1,128 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-3}$.

Т а б л и ц а 2. Значения $K_s(h)$ и $\delta K(h)$ для разной высоты ведения разведки

Высота, м	$K_s(h)$	$\delta K(h)$
50	3,31	$\pm 0,02$
100	6,01	$\pm 0,05$
150	10,09	$\pm 0,1$
200	16,36	$\pm 0,15$
250	26	$\pm 0,2$
300	40,72	$\pm 0,26$

Поскольку $K(h)$ рассчитывали в предположении, что плотность атмосферы не меняется с высотой, возникают дополнительные погрешности. В первую очередь необходимо отметить, что различие высоты над поверхностью для атмосферы с постоянной плотностью и реальной атмосферы для рассматриваемого диапазона значений h составляет $\sim 2\%$ [1]. Исходя из этого, с учетом данных табл. 1 легко показать, что дополнительная погрешность, обусловленная использованным приближением, не превышает 5%. Кроме того, изменение температуры от -30 до $+30$ °C связано с погрешностью определения $K(h)$, равной $\pm 20\%$, снижение или увеличение давления на 50 мм рт. ст. — $\pm 5\%$ [1].

Следовательно, суммарная погрешность $\delta K(h)$ приведения измеренной мощности дозы к высоте 1 м может достигать $\pm 60\%$. С другой стороны, различие между предельно допустимой дозой облучения и дозой, при которой население должно быть укрыто (эвакуировано), достигает 5 раз [6]. Следовательно, величина $\delta K(h)$ позволяет предварительно определить положение зон опасного радиоактивного загрязнения.

Таким образом, полученные результаты показывают возможность расчета с допустимой погрешностью мощности дозы на высоте 1 м над поверхностью земли по данным измерения на высоте h . Это позволяет проводить предварительную радиационную разведку неспециализированным измерителем мощности дозы γ -излучения, размещенным на борту летательного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю.А., Стукин Е.Д. Гамма-излучение радиоактивных выпадений. М.: Атомиздат, 1967. 224 с.
2. Пальванов В.Ч., Стрелков А.С. Расчет факторов накопления мягкого γ -излучения в веществах с малым атомным номером. — Вопросы дозиметрии и защиты от излучений. Сб. статей МИФИ. Вып. 7. М.: Атомиздат, 1967, с. 138—149.
3. Гусев Н.Г., Машкович В.П., Обвинцев Г.В. Гамма-излучение радиоактивных изотопов и продуктов деления. Теория и таблицы. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1958. 208 с.
4. Абагян А.А., Асмолов В.Г., Гуськова А.К. и др. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ. — Атомная энергия, 1986, т. 61, вып. 5, с. 301—312.
5. Беспалов С.Е., Каратов А.В., Михайлов Л.В. и др. Особенности расчета выхода продуктов деления из разрушенной активной зоны при тяжелых авариях. — Там же, 1995, т. 79, вып. 2, с. 134—138.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). М.: Центр сан.-эпидем. нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. 116 с.

Поступила в Редакцию 14.06.02