

Определение доли фотонного излучения при измерении мощности экспозиционной дозы источников нейтронов на основе ^{252}Cf

Н. Ф. ДЕМЧЕНКО*, Р. Н. МИНВАЛИЕВ*, В. И. ШИПИЛОВ*, И. А. ХАРИТОНОВ**

* ОАО «Государственный научный центр
Научно-исследовательский институт атомных реакторов», Димитровград, Россия,
e-mail: nik_demchenko@mail.ru

** Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева,
С.-Петербург, Россия

Рассмотрен метод оценки вклада фотонного излучения в показаниях детектора при измерении мощности экспозиционной дозы и эквивалентной активности нейтронных источников с использованием висмутовых экранов-фильтров. Мощность экспозиционной дозы фотонного излучения определена методом сравнения сигналов.

Ключевые слова: мощность экспозиционной дозы, фотонное и нейтронное излучения, поглощение.

The method of estimation of contribution of photon radiation in detector indications at measurement of exposure dose rate of neutron sources using screens-filters is considered. The exposure dose rate of photon radiation is determined by the comparison of signals method.

Key words: exposure dose rate, photon and neutron radiation, absorption.

Источники нейтронов на основе ^{252}Cf получили широкое применение в медицине. Однако кроме нейтронного излучения такие источники обладают также сопутствующими α -, β - и γ -излучениями. Основную опасность для здоровья пациентов при этом представляет фотонное излучение, дающее дополнительный вклад в общую дозу, полученную при прохождении курса лечения. Поэтому в медицине очень важно правильно учитывать это влияние. Метод определения доли фотонного излучения при измерении мощности экспозиционной дозы (МЭД) калифорниевых источников был разработан и исследован сотрудниками ОАО «ГНЦ Научно-исследовательский институт атомных реакторов» и ВНИИМ им. Д. И. Менделеева.

Метод компаратора. Фотонное излучение источников нейтронов на основе ^{252}Cf в основном состоит из двух групп фотонов: сопровождающих нейтроны спонтанного деления и возникающих при радиоактивном распаде осколков деления («делительная компонента»); сопровождающих α -распад [1]. Интенсивность фотонного излучения источника зависит от массы радионуклида калифорния в сердечнике и наличия примесей, а также от типа и размера ампулы источника. Поскольку технология изготовления источников допускает определенную вариацию значений некоторых перечисленных выше параметров, то МЭД фотонного излучения необходимо измерять при аттестации для каждого источника индивидуально. Для этого применяют метод сравнения сигналов (метод компаратора) [2], вызванных воздействием фотонного излучения аттестуемого $I_{\text{ф}}^{\text{х}}$ и образцового $I_{\text{ф}}^{\text{о}}$ источников одного типа на детектор компаратора, с последующим расчетом значения МЭД аттестуемого источ-

ника $P_{\text{ф}}^{\text{х}}$. С учетом распада радионуклида ^{252}Cf в образцовом источнике его МЭД в рентгенах в секунду вычисляется по формуле

$$P_{\text{ф}}^{\text{х}} = P_{\text{ф}}^{\text{о}} \exp(-\lambda \Delta t) I_{\text{ф}}^{\text{х}} / I_{\text{ф}}^{\text{о}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ф}}^{\text{о}}$ — значение МЭД фотонного излучения образцового источника, приведенное в свидетельстве об его аттестации, P/c; λ — постоянная распада радиоактивного источника, дн^{-1} ; Δt — интервал времени (количество дней) от момента аттестации образцового источника, указанного в свидетельстве, до момента измерения.

Однако детектор компаратора (ионизационная камера) чувствителен не только к фотонному, но и к нейтронному и β -излучениям источника [3]. Чтобы сравнить сигналы $I_{\text{ф}}^{\text{х}}$ и

$I_{\text{ф}}^{\text{о}}$, необходимо выделить в показании компаратора часть, обусловленную регистрацией фотонного излучения. Для этого был предложен следующий метод.

Между источником нейтронного излучения и детектором последовательно устанавливаются висмутовые фильтры (толщина каждого фильтра 6,4 мм). Показание I компаратора в отсутствие фильтра можно представить в виде

$$I = I_{\text{ф}} + I_{\text{н}} + I_{\beta} + I_{\alpha},$$

где $I_{\text{ф}}$, $I_{\text{н}}$, I_{β} , I_{α} — части сигнала, обусловленные воздействием фотонного, нейтронного, β - и α -излучений, соответственно.

Если между источником и детектором установить один фильтр, то новое показание детектора (в линейном приближении) можно представить как

$$I_1 = k_{\phi} I_{\phi} + k_n I_n + k_{\beta} I_{\beta} + k_{\alpha} I_{\alpha},$$

где k_{ϕ} , k_n — коэффициенты пропускания фотонного и нейтронного излучений, соответственно; $k_{\beta} = k_{\alpha} = 0$ — коэффициенты пропускания β - и α -излучений, равные нулю, поскольку эти виды излучения одним фильтром поглощаются полностью.

Определение коэффициентов поглощения нейтронов и фотонов. Если бы фотонное излучение источников состояло только из «делительной» компоненты, то относительный вклад фотонного и нейтронного излучений в сигнале детектора компаратора был бы один и тот же для всех источников независимо от их типа. В этом случае в сигнале детектора присутствовала бы «паразитная» часть kI_{ϕ} , обусловленная вкладом нейтронов, пропорциональная «фотонному» сигналу так, что сигнал можно было бы представить в виде

$$I = I_{\phi} + kI_{\phi} = I_{\phi}(1 + k),$$

и при сравнении сигналов от образцового и аттестуемого источников

$$I^x / I^0 = I_{\phi}^x (1 + k) / (I_{\phi}^0 (1 + k)) = I_{\phi}^x / I_{\phi}^0$$

вклад нейтронов в обоих сигналах компенсировал бы друг друга. В этом случае применять методику с выделением из сигнала «чистой» фотонной компоненты не было бы необходимости, так как непосредственное сравнение сигналов источников в открытой геометрии без фильтров давало бы правильный результат.

Однако, как уже отмечалось выше, соотношение между вкладами фотонной и нейтронной составляющих излучения для разных источников, в том числе одного типа, может отличаться из-за наличия в сердечнике γ -излучающих примесей, вариаций толщины ампулы для медицинских источников и т. д. Именно существование этого отличия обуславливает необходимость разделения вкладов фотонной и нейтронной составляющих с помощью фильтров.

Результаты последовательных измерений с несколькими фильтрами одинаковой толщины можно интерпретировать как изменение интенсивности фотонного и нейтронного излучений источника, определяемое при прохождении через фильтры с постоянными коэффициентами k_{ϕ} , k_n . Тогда можно получить систему линейных уравнений

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= k_{\phi} I_{\phi} + k_n I_n; \\ I_2 &= k_{\phi}^2 I_{\phi} + k_n^2 I_n; \\ I_3 &= k_{\phi}^3 I_{\phi} + k_n^3 I_n; \\ I_4 &= k_{\phi}^4 I_{\phi} + k_n^4 I_n. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Поскольку неизвестных величин четыре — I_{ϕ} , I_n , k_{ϕ} , k_n , число уравнений в системе также должно быть равно четырем. Увеличение числа уравнений в системе достигается

простым увеличением числа фильтров. Таким образом, для решения системы с четырьмя неизвестными между источником и детектором необходимо (и достаточно) установить четыре фильтра.

Решив систему (2), найдем коэффициенты k_n , k_{ϕ} , а также часть сигналов, соответствующих регистрации фотонного и нейтронного излучений:

$$k_{\phi} = \frac{I_2 I_3 - I_1 I_4 + \sqrt{(I_1 I_4 - I_2 I_3)^2 - 4(I_3^2 - I_2 I_4)(I_2^2 - I_1 I_3)}}{2(I_2^2 - I_1 I_3)};$$

$$k_n = (I_2 k_{\phi} - I_3) / (I_1 k_{\phi} - I_2);$$

$$I_{\phi} = (k_n I_1 - I_2) / (k_{\phi} (k_n - k_{\phi})); \quad (3)$$

$$I_n = (I_2 - k_{\phi} I_1) / (k_n (k_n - k_{\phi})).$$

Определив таким образом в серии экспериментов с эталонными источниками коэффициенты k_n , k_{ϕ} , характеризующие прохождение смешанного нейтронно-фотонного излучения источников через висмутовые фильтры, можно далее использовать их значения как константы при сравнении источников всех типов.

Определение фотонного излучения контролируемого источника. При нахождении МЭД снимают показания компаратора с одним I_1^x , I_1^0 и двумя I_2^x , I_2^0 фильтрами для аттестуемого и образцового источников соответственно, на одном и том же расстоянии между источником и детектором и при одном и том же расположении фильтров (стандартное положение). После соответствующей обработки результатов измерений средние значения подставляют в (3) и затем в (1). Окончательная формула для определения МЭД аттестуемого нейтронного источника имеет вид

$$P_{\phi}^x = P_{\phi}^0 \exp(-\lambda \Delta t) (k \bar{I}_1^x - \bar{I}_2^x) / (k \bar{I}_1^0 - \bar{I}_2^0),$$

где k — коэффициент пропускания нейтронного излучения ($k = 0,88 \pm 0,05$).

На практике оказалось, что значения коэффициента поглощения фотонного излучения изменяются от источника к источнику ($k_{\phi} = 0,5 \dots 2,4$). Поэтому его необходимо определять каждый раз при проверке средств измерений. Большой разброс значений коэффициента k_{ϕ} обусловлен тем, что фотонное излучение источников на основе ^{252}Cf в основном зависит от излучения примесей, концентрация которых может существенно изменяться от источника к источнику. Соответственно различным будет и спектральный состав фотонного излучения этих источников. При длительной эксплуатации источников из ^{252}Cf спектральный состав как нейтронного, так и фотонного излучения может меняться вследствие распада ядер калифорния и накопления дочерних радиоактивных нуклидов. Измерения показывают значительное расхождение МЭД фотонного излучения в общем излучении от двух источников (эталонного и контролируемого), разница между сроками изготовления которых составляет

Измерения ионизирующих излучений

менее 10 лет. Расхождение, вероятно, связано с накоплением в эталонном источнике дочерних радионуклидов Cm.

Заключение. Предложенный метод позволяет определить вклад фотонного излучения в показания детектора при определении МЭД источников нейтронов на основе ^{252}Cf . Установка для измерения МЭД нейтронных источников и источники из калифорния были поверены во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева в качестве образцовых средств измерений МЭД фотонного излучения.

Разработанная методика определения доли фотонного излучения от нейтронных источников может применяться в ядерной медицине для определения вклада доли облучения пациентов нейтронами и γ -квантами.

Литература

1. **Елисютин Г. П., Комар В. Я., Чулкин В. Л.** Экспериментальное определение дозных распределений от терапевтических источников из ^{252}Cf // Радиационная техника. 1980. Вып. 19. С. 201—202.
2. **Демченко Н. Ф. и др.** Дозиметрические методы и средства контроля источников гамма-излучения // Вестник УГТУ-УПИ. 2004. № 17(47). С. 24.
3. **Левин В. Е. и др.** Измерение ядерных излучений. М.: Атомиздат, 1969.

Дата принятия 19.07.2011 г.