

УДК 539.16.07

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОКОМПЕНСАЦИИ КОМПАКТНОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ ТОРЦЕВОГО СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА

Дубовик Н.А., Левко И.А.

Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Для радиационной защиты человека от воздействия внешнего ионизирующего излучения (ИИ) требуется проведение мониторинга защитных величин: эквивалентной и эффективной доз облучения. Эти величины не измеримы на практике, что приводит к необходимости использования для их оценки так называемых операционных величин [1].

Операционной величиной для индивидуального мониторинга внешнего облучения является индивидуальный эквивалент дозы, $H_p(d)$, равный эквиваленту дозы в образце из мягкой биологической ткани в точке размещения индивидуального дозиметра под слоем экранирующего материала толщиной d . При облучении всего тела человека сильнопроникающим излучением, таким как фотонами с энергиями свыше 12 кэВ, для оценки эффективной дозы измеряется индивидуальный эквивалент дозы при $d = 10$ мм, обозначаемый как $H_p(10)$.

В свою очередь эквивалент дозы равен поглощенной дозе D , умноженной на стандартизованный коэффициент качества излучения k , зависящий от вида и энергии ИИ [1].

Поглощенная доза является основной физической величиной, измеряемой на практике. Усреднение этой величины по конкретным органам и тканям и использование взвешивающих коэффициентов для учета различий в биологической эффективности различных видов ИИ позволяет оценить эффективную дозу.

В индивидуальных дозиметрах для регистрации ионизирующего излучения широко используются газоразрядные детекторы на основе счетчиков Гейгера. Счетчики Гейгера обладают высокой чувствительностью, обеспечивают регистрацию различных типов излучения, генерируют большой выходной сигнал и имеют малые габариты.

При дозиметрии фотонного ИИ с помощью счетчиков Гейгера выполняется измерение как поглощенной дозы, так и мощности поглощенной дозы $\dot{D} = dD/dt$. Мощность поглощенной дозы связана со скоростью счета газоразрядного детектора следующим образом [2]

$$\dot{D} = \mu_m \bar{E} \frac{n_{сч}}{\varepsilon_{сч}}, \quad (1)$$

где μ_m – массовый коэффициент поглощения энергии фотонов в образцовом веществе; \bar{E} – средняя энергия фотонов; $n_{сч}$ – число импульсов,

генерируемых счетчиком за 1 с; $\varepsilon_{сч}$ – эффективность регистрации счетчика. Отсюда можно получить выражение для дозовой или радиационной чувствительности счетчика Гейгера:

$$\frac{n_{сч}}{\dot{D}} = \frac{\varepsilon_{сч}}{\mu_m \bar{E}}. \quad (2)$$

Так как в выражении (2) параметры μ_m и \bar{E} всецело определяются внешними факторами, дозовая чувствительность напрямую связана с эффективностью регистрации счетчика $\varepsilon_{сч}$. В свою очередь последний параметр для счетчиков Гейгера существенно зависит от вида и кинетической энергии излучения. Эта зависимость получила название «ход с жесткостью». Под жесткостью понимается энергия ИИ.

Эффективность счетчика Гейгера, как правило, является отношением числа зарегистрированных частиц к числу всех частиц ИИ, прошедших через его рабочий объем, и выражается в относительных единицах или процентах.

Для дозиметрии фотонного излучения необходимо, чтобы чувствительность детектора не зависела от энергии ИИ. Согласно выражению (2) для счетчиков Гейгера исключить эффект хода с жесткостью не представляется возможным. Однако для детекторов данного типа допустимо использование специальных фильтров, которые позволяют уменьшить ход с жесткостью и добиться приемлемой точности измерения мощности поглощенной дозы в диапазоне энергий фотонов от 12 кэВ до 2 МэВ.

Для построения индивидуальных дозиметров интерес представляет газоразрядный торцевой счетчик Гейгера «Бета-6-1», выпускаемый НПФ «Консенсус» [3], благодаря малым габаритам и возможности регистрации рентгеновского и γ -излучения свыше 15 кэВ. Этот детектор обеспечивает реализацию традиционной технологии дозиметрического контроля облучения низко- и среднеэнергетичными фотонами ИИ.

На графике зависимости эффективности от энергии для детектора «Бета-6-1» (рисунок 1) виден резкий ход с жесткостью. Поэтому для реализации дозиметра на базе данного детектора нужен подбор материалов, окружающих счетчик Гейгера, для компенсации хода с жесткостью. Традиционными материалами, используемыми для данной цели, являются: вольфрам, свинец, железо, олово, алюминий, медь.

Спецификой фильтра для компактного дозиметра является то, что используемые в нем мате-

риалы не должны значительно увеличивать габариты детектора. Исходя из этого, предпочтительным является применение пластин из металлов с большой плотностью, т. к. такие пластины даже при их малой толщине дают значительный эффект ослабления низкоэнергетического фотонного ИИ.

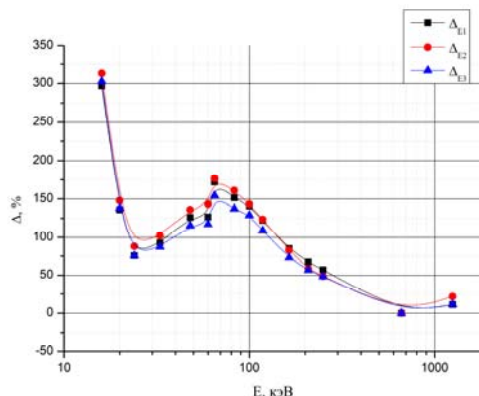


Рисунок 1 – Зависимость эффективностей регистрации от энергии фотонного излучения 3-х детекторов «Бета-6-1», соотнесенные к эффективности для энергии 662 кэВ

При использовании одной пластины в фильтре эффективность регистрации счетчика Гейгера ε_f может быть записана в виде

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{сч} e^{-\rho_1 \mu_{m,1} d_1}, \quad (3)$$

где ρ_1 – плотность металла; $\mu_{m,1}$ – массовый коэффициент ослабления; d_1 – толщина пластины.

Однако при такой конфигурации фильтра после прохождения фотонного ИИ через пластину с высокой плотностью из нее могут излучаться вторичные электроны и характеристическое излучение, попадающие затем на входное окно счетчика Гейгера.

Для устранения данного эффекта целесообразно использовать еще одну пластину металла с меньшей плотностью, которая будет задерживать электроны. Кроме этого дополнительная пластина дает дополнительное нежелательное ослабление исходного потока ИИ для нижней части диапазона энергий меньше 100 кэВ.

Практика показывает, что уменьшить ослабление потока ИИ можно путем частичного перекрытия площади входного окна пластиной из металла с меньшей плотностью. Материалами для второй пластины могут служить железо, алюминий или медь. Если обозначить через s_1 долю от общей площади входного окна детектора, занятого металлом с плотностью ρ_1 , то тогда выражение (3) для эффективности запишется следующим образом:

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{сч} e^{-\rho_1 \mu_{m,1} d_1} [1 + s_1 (e^{-\rho_2 \mu_{m,2} d_2} - 1)]. \quad (4)$$

Изменение процентного соотношения для второй пластины все же не дает возможности регистрировать энергии в пределах 16–30 кэВ. Используя предложенный выше подход (4), но оставив некоторые участки фильтра без ослабляющих пластин получим эффективность регистрации как:

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{сч} e^{-\rho_1 \mu_{m,1} d_1} [s_2 + s_1 (e^{-\rho_2 \mu_{m,2} d_2} - 1)] + \varepsilon_{сч} (1 - s_2), \quad (5)$$

где s_2 – доля от общей площади входного окна детектора, занимаемой пластиной металла с высокой плотностью.

Наилучший результат компенсации хода с жесткостью с помощью композитного фильтра (5) приведен на рисунке 2.

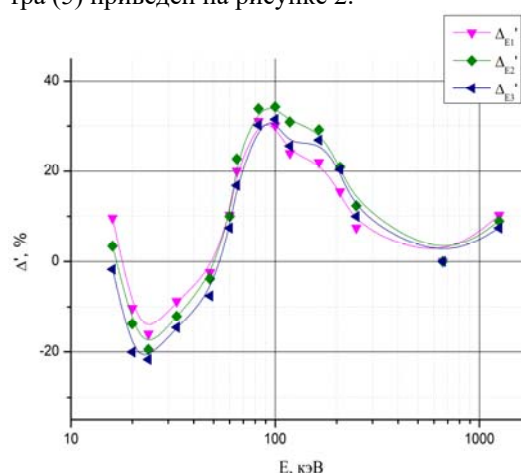


Рисунок 2 – Зависимость эффективностей регистрации от энергии фотонного излучения 3-х детекторов «Бета-6-1» с фильтром, соотнесенные к эффективности для энергии 662 кэВ

При этом достигается неравномерность характеристики эффективности регистрации в пределах $+34\% \div -21\%$ при использовании пластин из вольфрама и алюминия с толщинами 0,5 и 0,25 мм соответственно.

Литература

1. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер с англ. /Под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К.Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 343 с.
2. Машкович В.П., Панченко А.М. Основы радиационной безопасности: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.
3. Счётчик альфа-бета-гамма излучений БЕТА-6-1. [Электронный ресурс] / Научно-производственная фирма Консенсус. – Режим доступа: <https://consensus-group.ru/katalog/alfa-beta-gamma-counters/36-beta-6-1>. – Дата доступа: 15.12.2019.