

Исследование возможности градуировки блоков детектирования фотонного излучения с использованием рентгеновской установки

Проведены исследования возможности градуировки блоков детектирования, предназначенных для измерения больших мощностей доз фотонного излучения методом комплексного использования установок – поверочной дозиметрической и рентгеновской. Экспериментально подтверждена возможность применения метода для решения задач поверки этих блоков.

Ключевые слова: блок детектирования, фотонное излучение, градуировочная характеристика, чувствительность, мертвое время.

Л.Л.Синников, Э.Ф.Андриевский (НПП «Доза, г.Зеленоград)

Одной из проблем метрологического обеспечения блоков детектирования фотонного излучения, применяемых в системах радиационного контроля, является их градуировка во всем диапазоне измерений. Блоки детектирования на основе газоразрядных счетчиков имеют нелинейную градуировочную характеристику [1]. При больших мощностях доз, из-за наличия у счетчиков мертвого времени, начинаются просчеты.

Линеаризация характеристики осуществляется в процессоре блока путем введения поправки на мертвое время по известной формуле:

$$\dot{N}^*(10) = K \frac{N}{1 - \tau \times N}, \quad (1)$$

где $\dot{N}^*(10)$ – измеряемая величина, например, мощность Ambientного эквивалента дозы гамма-излучения; K – коэффициент преобразования (чувствительность) блока детектирования; N – скорость счета импульсов, $\text{имп} \cdot \text{с}^{-1}$; τ – «мертвое время», с.

При градуировке блока опре-

деляется коэффициент преобразования K и мертвое время τ , причем коэффициент преобразования определяется в начале диапазона, где влиянием мертвого времени можно пренебречь, а мертвое время – в конце диапазона.

Таким образом, если верхняя граница диапазона измерений блока детектирования 10 Зв/ч или 100 Зв/ч, то при градуировке блока для определения мертвого времени необходимо иметь мощность дозы фотонного излучения порядка 4–5 Зв/ч или 40–50 Зв/ч соответственно.

Самое очевидное решение – это создание поверочной установки с мощным источником гамма-излучения. По этому пути пошло НПУП «АТОМТЕХ», создав установку УДГ-АТ130 [2]. В этой установке имеется источник ^{137}Cs активностью около 2600 Ки. Недостатки установки очевидны:

- высокая стоимость самой установки;
- высокая стоимость помещения для ее размещения;
- проблемы с обеспечением

радиационной безопасности.

Поэтому мы решили исследовать возможность применения рентгеновской установки для получения больших мощностей доз. Рентгеновские установки имеют ряд преимуществ по сравнению с мощными гамма-установками. Во-первых, гораздо проще обеспечить радиационную безопасность при транспортировании, монтаже и эксплуатации. При отсутствии напряжения отсутствует излучение, и все подготовительные работы можно проводить, не подвергаясь дополнительному облучению. Легче (дешевле) обеспечить радиационную защиту помещения. Во-вторых, стоимость соответствующей рентгеновской установки в несколько раз меньше стоимости, например, УДГ-АТ130. В-третьих, одна рентгеновская установка может перекрыть до трех порядков диапазона мощностей доз. В гамма-установке для этого надо иметь несколько источников.

В то же время, основные проблемы, ограничивающие применение рентгеновских установок при

Табл.1. Основные характеристики блоков детектирования гамма-излучения ДБГ-С11Д.

Характеристика	ДБГ-С11Д, исполнение 01	ДБГ-С11Д, исполнение 02
Назначение	Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения	
Диапазон измерений	0,1 мкЗв·ч ⁻¹ – 10 Зв·ч ⁻¹	0,1 мкЗв·ч ⁻¹ – 100 Зв·ч ⁻¹
Диапазон энергий регистрируемого излучения	50 кэВ – 3,0 МэВ	
Предел допускаемой основной относительной погрешности (при E = 662 кэВ)	±15 %	до 10 Зв·ч ⁻¹ ±15 % от 10 Зв·ч ⁻¹ до 100 Зв·ч ⁻¹ ±20 %
Энергетическая зависимость относительно E = 662 кэВ	±25 %	

Табл.2. Основные характеристики рентгеновской установки ISOVOLT-225.

Параметр	Значение
Максимальное выходное напряжение	225 кВ
Максимальный выходной ток	45 мА
Время экспозиции	от 0,1 до 100 мин
Температурный дрейф	< 10 ⁻⁴ /°С

поверке блоков детектирования, связаны с нестабильностью рентгеновского пучка и сплошным спектром рентгеновского излучения. И, если первая проблема решается использованием эталонного дозиметра сопровождения или применением камеры-свидетеля, то вторая проблема намного сложнее.

В диапазоне энергий от 20 до 100 кэВ детекторы, как правило, имеют сложную зависимость чувствительности от энергии излучения, обусловленную сечением взаимодействия фотонного излучения с веществом. И спектр рентгеновского излучения в этой области является не линейчатый, как в случае гамма-излучения, а сплошным, причем еще и зависящим от характеристик конкретного рентгеновского аппарата. Поэтому отклик детектора в области рентгеновского излучения может существенно отличаться от отклика к гамма-излучению ¹³⁷Cs (661 кэВ) или ⁶⁰Co (1,25 МэВ), которые используются при поверке, и для которых приводится основная погрешность измерений дозиметров, используемых в радиационном контроле.

Поэтому мы решили исследовать возможность градуировки

блоков детектирования с большой верхней границей диапазона измерений с использованием изотопного источника и рентгеновской установки. Суть метода: чувствительность определяется в одной точке в начале диапазона на источнике гамма-излучения ¹³⁷Cs, а затем на рентгеновской установке исследуется линейность градуировочной характеристики во всем диапазоне измерений.

Такой подход, в частности, был реализован в установке УПП-1-5, в которой измеритель мощности дозы ДП-5 поверялся по гамма-излучению в одной точке, а затем проверялась линейность во всем диапазоне с помощью бета-излучения.

В экспериментальных исследованиях использовались блоки ДБГ-С11Д (исполнение 01 и 02), рентгеновская установка ISOVOLT ТИТАН Е-225. В качестве эталонных дозиметров использовались клинический дозиметр NOMEX (PTW Freiburg, Германия) с ионизационной камерой рентгеновского излучения (тип 77334) и универсальный дозиметр для контроля характеристик рентгеновских аппаратов RTI Piranha (Швеция).

В табл.1 и 2 приведены основные характеристики блоков

ДБГ-С11Д и рентгеновской установки.

На первом этапе были проведены исследования возможностей данной рентгеновской установки в качестве источника излучения с требуемыми параметрами.

Прежде всего, необходимо было оценить, какие мощности дозы можно получить при облучении блоков. Установка снабжена устройством формирования пучка, которое позволяет получать так называемые узкие спектры по ISO 4037-1 [3]. Теоретически использование узкого спектра более предпочтительно, чем сплошного рентгеновского спектра, получаемого без дополнительной фильтрации. В этом случае отсутствует низкоэнергетическая составляющая спектра, среднюю энергию спектра можно получить вплоть до 250 кэВ. При такой энергии чувствительность блоков незначительно отличается от чувствительности при энергии 662 кэВ (¹³⁷Cs).

Однако для получения такого спектра необходимо пропускать пучок излучения через достаточно толстый фильтр, что существенно снижает мощность дозы. В табл.3 приведены максимальные показания ДБГ-С11Д, которые были получены при разных режимах рентгеновского аппарата.

Как видно из таблицы, узкие спектры не обеспечивают требуемые мощности дозы, и дальнейшие исследования проводились при напряжении на трубке 150 кВ, без дополнительной фильтрации. Мощность дозы изменялась путем

Табл.3. Максимальные показания ДБГ-С11Д на рентгеновской установке на расстоянии 1 м от выходного окна.

Напряжение на трубке, кВ	Дополнительный фильтр	Средняя энергия, кэВ	Максимальные показания ДБГ-С11Д, Зв/ч
60	0,6 мм Cu	48	0,3
80	2 мм Cu	65	0,8
100	5 мм Cu	83	0,3
150	2,5 мм Sn	118	0,2
150	отсутствует	30	60

изменения тока трубки в диапазоне от 0,1 до 18 мА.

Важно было убедиться, что при изменении тока не происходит изменения спектра излучения, т.к. в противном случае будут возникать дополнительные погрешности, обусловленные энергетической зависимостью чувствительности блоков детектирования. Постоянство спектрального состава контролировалось путем измерения слоя половинного ослабления (СПО) [4]. Было установлено, что СПО, а следовательно, и средняя энергия спектра при разных токах, но одинаковом напряжении, в пределах погрешности измерений остается неизменным.

Схема экспериментальной

проверки предложенной методики была следующей. Блоки детектирования, поступившие с производства, градуировались в точке 190 мЗв/ч на установке УПГД-2М-Д (^{137}Cs , $E = 662$ кэВ). Затем на рентгеновской установке во всем диапазоне измерений подбиралось значение мертвого времени, при котором градуировочная характеристика имела линейный характер, и контролировался наклон градуировочной характеристики (чувствительность блока детектирования). После этого блоки детектирования отправлялись на поверку в ФГУП «ВНИИФТРИ». Поверка осуществлялась на установке больших мощностей доз УБМД, входящей в

состав ГЭТ 3802011, по стандартной утвержденной методике поверки. Сразу надо оговориться, что погрешность блоков нормируется для ^{137}Cs . В УБМД используется источник ^{60}Co ($E = 1,25$ МэВ). Поэтому во все результаты, полученные на УБМД, были внесены поправки, учитывающие разность в чувствительности блоков для энергии ^{137}Cs и ^{60}Co .

В табл.4 приведены результаты исследования линейности градуировочной характеристики блока ДБГ-С11Д.

Принципиальным моментом является то, что первая точка по мощности дозы на рентгеновской установке должна быть примерно той же, при которой определялся коэффициент чувствительности на установке УПГД-2М-Д. Значение чувствительности в этой точке принимается равным 1 (столбец 5), и затем исследуется чувствительность (линейность градуировочной характеристики) во всем диапазоне относительно этой первой точки.

Величина среднего квадратического отклонения (СКО) ре-

Табл.4. Показания ДБГ-С11Д при различных значениях мертвого времени.

Ток, мА	τ , с	Показания ДБГ-С11Д $N_{БД}$, Зв/ч	Показания эталонного дозиметра D_0 , Зв/ч	Относительная чувствительность $N_{БД}/D_0$	Среднее СКО	Вид характеристики
0,1 1 5 10 15 18	$1,5 \cdot 10^{-5}$	0,25 2,42 9,8 16,2 21,1 23,5	0,25 2,53 12,95 26,13 39,19 47,03	1 0,96 0,76 0,62 0,54 0,50	$\frac{0,73}{29\%}$	
0,1 1 5 10 15 18	$4,5 \cdot 10^{-5}$	0,27 2,57 12,9 28,1 46,6 60,7	0,27 2,49 12,82 26,06 39,15 47,06	1 1,03 1,01 1,08 1,19 1,29	$\frac{1,1}{10\%}$	
0,1 1 5 10 15 18	$4,05 \cdot 10^{-5}$	0,25 2,66 13,4 26,9 41,1 50,3	0,25 2,51 12,89 26,10 39,16 47,04	1 1,06 1,04 1,03 1,05 1,07	$\frac{1,05}{2\%}$	

зультатов от среднего значения (столбец 6) является мерой линейности градуировочной характеристики. Оптимальным значением СКО является 3 %. Из-за случайной погрешности блоков получить меньшее значение СКО путем подбора мертвого времени достаточно сложно. Поэтому подбор значения мертвого времени завершался при получении СКО, равным 3 %. Последующая поверка блоков в ФГУП «ВНИИФТРИ» показала, что их погрешность в диапазоне выше 10 Зв/ч не превышает $\pm 15\%$ при допустимом значении $\pm 20\%$.

Для того, чтобы применять данную методику не только для настройки блоков, но и для их проверки, необходимо разработать алгоритм определения погрешности в области больших мощностей доз при облучении на рентгеновской установке. Причем значение этой погрешности должно быть приведено к энергии 662 кэВ (^{137}Cs), т.к. для этой энергии нор-

мируется предел основной относительной погрешности $\pm 20\%$.

Предлагается следующий подход: погрешность во всем диапазоне определяется погрешностью определения коэффициента чувствительности на поверочной установке и погрешностью, обусловленной нелинейностью градуировочной характеристики. На установке УПГД-2М-Д определяется погрешность в начале диапазона по известной формуле:

$$\Delta = \frac{\dot{H}_0^*(10) - \dot{H}^*(10)}{\dot{H}_0^*(10)} \cdot 100, \quad (2)$$

где $\dot{H}_0^*(10)$ – расчетное значение МАЭД, воспроизводимое установкой; $\dot{H}^*(10)$ – измеренное значение МАЭД.

Затем на рентгеновской установке оценивается линейность градуировочной характеристики во всем диапазоне измерений по изложенному методу. Максимальное отклонение градуировочной характеристики от значения в начале диапазона будет определять

погрешность, обусловленную нелинейностью. Погрешность, рассчитанная по формуле (2), складывается с учетом знака с погрешностью, обусловленной нелинейностью в соответствующей точке.

Например, из табл.4 видно, что максимальная погрешность за счет нелинейности (столбец 6) при $\tau = 1,5 \cdot 10^{-5}$ с в точке 47,03 Зв/ч будет минус 50 %, а при $\tau = 4,05 \cdot 10^{-5}$ с плюс 7 %. Если предположить, что погрешность Δ была 10 %, то в первом случае погрешность в точке 47,03 Зв/ч будет минус 40 %, во втором плюс 17 %.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность обеспечения градуировки дозиметрической аппаратуры, предназначенной для измерения больших мощностей доз фотонного излучения, на основе метода совместного применения установок дозиметрических гамма- и рентгеновского излучений.

Литература

1. В.И.Калашников, М.С.Козодаев. Детекторы элементарных частиц. М.: Наука, 1966.
2. Установки дозиметрические гамма-излучения УДГ-АТ130. Описание типа. Приложение к свидетельству № 40402 об утверждении типа средств измерений. Регистрационный № 44761-10.
3. ISO 4037-1:1996. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 1: Radiation characteristics production methods.
4. Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Cod of Practice. Technical reports series no.457. IAEA. Vienna, 2007.

Research of Possibility Uses X-ray Installation for Graduation of Detecting Blocks of Photon Radiation

Sinnikov Leonid, Andrievskiy Eduard (Scientific and producing company "Doza", Zelenograd)

Abstract. Researches of possibility of graduation of the blocks of detecting intended for measurement of big capacities of doses of photon radiation, method of complex use of installation of testing calibration dosimetric and X-ray installation are conducted. Possibility of application of a method for the solution of problems of checking of these blocks is experimentally confirmed.

Key words: detecting block, photon radiation, calibration characteristic, sensitivity, dead time.

Л.Л.Синников (к.т.н., с.н.с., гл.метролог), Э.Ф.Андриевский (к.т.н., с.н.с., зам.гл.метролога) – НПП «Доза», г.Зеленоград.

Контакты: тел.: +7 (495) 777-84-85; e-mail: sl@doza.ru.