

P16-2003-17

Г. Я. Касканов, Ю. В. Мокров

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ДОЗИМЕТР ФОТОННОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЛД ^{ест}LiF**

1. Введение

В соответствии с требованиями международных и отечественных нормативных документов в индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК) персонала внешнего облучения используются операционные величины, являющиеся консервативной оценкой эффективной дозы. Одна из таких величин - индивидуальный эквивалент дозы $H_p(10)$, определяемый как эквивалент дозы в мягкой ткани на глубине 10 мм под рассматриваемой точкой на теле. Некоторые методические указания^{1/} предлагают использовать для измерений этой величины детекторы, в частности термолюминесцентные (ТЛД), носимые на поверхности тела и покрытые слоем тканезквивалентного вещества толщиной 10 мм. В соответствии с этим при производстве некоторыми фирмами индивидуальных дозиметров фотонного излучения используемые в них детекторы, в том числе широко применяемые ТЛД из фтористого лития с естественным содержанием изотопов лития - ${}^{6\text{Li}}\text{F}$, покрываются слоем различных материалов, не всегда строго тканезквивалентных, толщиной 10 мм. Считается, что именно такие дозиметры обеспечивают измерение величины $H_p(10)$, хотя возможность измерения этой величины в том или ином диапазоне энергий фотонов в значительной степени зависит от энергетической зависимости чувствительности используемых детекторов и способа их градуировки. Об этом, например, говорится в рекомендациях МАГАТЭ^{2/}, где упоминается о возможности реализации в дозиметрах других, кроме использования покровных слоев тканезквивалентного вещества, подходах, обеспечивающих требуемую энергетическую зависимость чувствительности дозиметров. В этой связи возникает вопрос об обязательности использования в применяемых кассетах (корпусах) индивидуальных дозиметров покровные

слои различных материалов, близких к тканеэквивалентным. Вопрос этот имеет не только методическое, но и чисто практическое значение, так как воспринимаемое как рекомендация предложение располагать детекторы под слоем тканеэквивалентного вещества толщиной 10 мм иногда воспринимается как обязательное требование, что может приводить к существенным переделкам уже используемых дозиметров или изготовлению новых кассет дозиметров.

Известно, что вопрос о применении фильтров при использовании ТЛД в ИДК, в том числе из фтористого лития, наиболее актуален при энергиях фотонов ниже 100 кэВ.^{/3,4/}

Целью настоящей работы была непосредственная проверка возможности использования применяемой в ОИЯИ кассеты ИФК-2,3 с термолуминесцентными детекторами из естественного фтористого лития для измерения величины $H_p(10)$ фотонного излучения в диапазоне энергий от нескольких десятков кэВ до 1,25 МэВ.

2. Условия измерений

Решение поставленной задачи состояло в определении откликов ТЛД на основе ${}^{6\text{Li}}\text{F}$, помещенных в используемую в ОИЯИ кассету ИФК-2,3 и облученных на фантоме фотонами различных энергий в диапазоне от гамма-излучения ${}^{60}\text{Co}$ до энергий фотонов в несколько десятков кэВ. Эти значения сравнивались с откликом детекторов, расположенных без кассеты непосредственно на фантоме под слоем тканеэквивалентного материала толщиной 10 мм, в качестве которого использовался полиэтилен, и облученных в таких же условиях.

В измерениях использовалась стандартная кассета ИФК-2,3, в которой располагалась карта (card) фирмы «Харшоу» с двумя детекторами из естественного фтористого лития. Кассета ИФК-2,3 представляет собой складывающийся карболитовый корпус размером 40x60 мм с толщиной

стенки 1 мм. На лицевой стороне кассеты в левом верхнем углу (если смотреть на кассету) имеется окно размером 16x21 мм. В каждой стенке с внутренней стороны вмонтированы противоположно друг другу фильтры размерами 15x20 мм. Фильтр, обозначаемый далее как Ф2, расположен рядом с окном по часовой стрелке, и состоит из гетинакса толщиной 1,1 мм и алюминия толщиной 2,1 мм. Общая толщина его с учетом карболитовой кассеты составляет 850 мг/см². Фильтр Ф3 состоит из слоя гетинакса толщиной 2,1 мм только с лицевой стороны кассеты, общая толщина его - 450 мг/см². Фильтр 4 Ф4 состоит из свинца толщиной 0,75 мм и гетинакса толщиной 2,5 мм, общая толщина его 1350 мг/см². В используемой карте размещены два ТЛД, причем различное положение карты позволяет располагать детекторы под окном кассеты и под фильтром Ф4 или под фильтром Ф2 и фильтром Ф3. Рабочим является такое положение карты, когда один детектор находится под окном, а другой под фильтром Ф4, т.к. по разнице показаний под окном и фильтром можно оценить дозу от бета-излучения и низкоэнергетического фотонного излучения.

Облучение дозиметров и карт с ТЛД проводилось на поверхности водного фантома ИСО с корпусом из оргстекла толщиной 10 мм и с размерами 30x30x15 см. В качестве источников фотонов использовались: радионуклидные источники из ⁶⁰Со со средней энергией 1250 кэВ, ¹³⁷Cs с энергией 662 кэВ, ⁵⁷Со с энергией 122 кэВ, ²⁴¹Am с энергией 59,5 кэВ и рентгеновское излучение импульсного рентгеновского аппарата «АРИНА» с эффективной энергией 120 кэВ.

На источниках ⁶⁰Со и ¹³⁷Cs облучение проводилось на поверочной установке типа УПГД Отдела радиационной безопасности ОИЯИ с коллиматором диаметром 60 мм. Используемые рабочие эталоны (образцовые источники) аттестованы в Менделеевском ЦСМ по мощности экспозиционной дозы. Пересчет от экспозиционной дозы к величине Н_p(10) проводился в два этапа: сначала от экспозиционной дозы к керме в воздухе с

использованием переходных коэффициентов в соответствии с рекомендациями^{5/}, далее от кермы к величине $H_p(10)$ в соответствии с рекомендациями ISO^{6/}, при этом значения переходных коэффициентов равнялись для водного фантома и нормального облучения 1,15 и 1,21 Зв/Гр для ^{60}Co и ^{137}Cs соответственно.

Облучение гамма-излучением ^{57}Co и ^{241}Am и рентгеновским излучением проводилось во ВНИИФТРИ. При этом измерялась экспозиционная доза, а переход к величине $H_p(10)$ осуществлялся в соответствии с международным стандартом ISO^{6/}.

Детекторы облучались на фантоме как в кассетах ИФК-2,3 под всеми фильтрами при разных положениях карты, так и без кассет. В последнем случае облучение проводилось за слоем полиэтилена толщиной 10 мм. Кроме того, на источнике ^{60}Co детекторы облучались и без фантома между пластинами из оргстекла толщиной 3 мм.

Количество детекторов в каждом облучении составляло от 5 до 10 штук. Показания детекторов определялись на приборе фирмы «Харшоу» 2271.

Перед началом измерений все детекторы градуировались на поверочной установке типа УПГД на источнике ^{60}Co для использования при дальнейшей обработке индивидуальных градуировочных коэффициентов.

3. Результаты измерений

Обработка результатов измерений состояла в нахождении среднего значения отклика детекторов на 1 мЗв величины $H_p(10)$ при облучении их фотонным излучением от указанных выше источников. При этом среднее значение находилось с учетом различия градуировочных коэффициентов каждого детектора – показания всех детекторов приводились к одному значению с учетом этих коэффициентов как весов.

Основные результаты измерений представлены в таблице, в которой указаны также источники и энергия излучения и условия облучения

дозиметров. Прочерки в колонке «Поглощающий слой» означают отсутствие поглотителя из полиэтилена толщиной 10 мм перед детекторами, колонка «Фильтр» отражает облучение детекторов без кассеты. Облучение детекторов на ^{60}Co между поглощающими слоями из оргстекла толщиной 3 мм проводилось без фантома и без кассеты.

Поскольку неопределенность нахождения величины $H_p(10)$ при всех облучениях не превышала 5%, а целью настоящей работы было определение относительного изменения отклика дозиметров при разных энергиях фотонного излучения, то эта составляющая общей неопределенности при обработке результатов не учитывалась. В качестве неопределенности нахождения относительного значения отклика детекторов рассчитывалась только случайная составляющая, представляющая собой доверительный интервал для среднего значения отклика при доверительной вероятности 0,95, т.е. только статистическая неопределенность^{1/1}. Она находилась, как правило, в пределах от 2 до 6 процентов (максимальное значение 11% для ^{241}Am) и в таблице не указана.. Значения отклика приведены в относительных единицах, причем за единицу принят отклик детекторов в карте без кассеты при облучении от ^{60}Co на фантоме за поглощающим слоем из полиэтилена толщиной 10 мм. Это обусловлено тем, что такие условия облучения более всего соответствуют рекомендациям^{1/1} по физической схеме регистрации $H_p(10)$.

Неопределенность относительных значений откликов, указанная в таблице, представляет собой квадратическую сумму неопределенности для каждого значения отклика и неопределенности для значения при облучении на ^{60}Co (принятом за единицу).

4. Выводы

На основании представленных в таблице результатов можно сделать следующие выводы.

1. Для энергий в диапазоне от 1,25 МэВ до 60 кэВ различия показаний (откликов) ТЛД из естественного фтористого лития при расположении их за слоем полиэтилена толщиной 10 мм и под открытым окном кассеты ИФК-2,3 при облучении на фантоме не превышают 29% в сторону занижения измеряемой величины $N_p(10)$. Так как в соответствии с методическими указаниями ¹¹ допустимые относительные неопределенности определения индивидуального эквивалента дозы для уровня основного предела составляют +50% ...-30%, то указанные детекторы при расположении их под открытым окном кассеты ИФК-2,3 могут использоваться в качестве дозиметров фотонов. При необходимости и при известном значении энергии фотонного излучения в показания дозиметров могут быть внесены поправки в соответствии с представленными в таблице данными.
2. В диапазоне энергий от 1,25 МэВ до 662 кэВ показания детекторов под окном и фильтром Ф4 совпадают в пределах неопределенностей их нахождения и отличаются от показаний за слоем полиэтилена толщиной 10 мм не более, чем на 16%. В силу того, что основной вклад в облучение персонала ОИЯИ от фотонного излучения дает гамма-излучение наведенной активности с наиболее характерными энергиями от 800 кэВ до 1,3 МэВ¹¹, то при определении дозы облучения персонала могут использоваться показания обоих детекторов и доза определяться по среднему их значению. Это допустимо кроме тех случаев, когда в показания детектора под открытым окном вносит вклад бета- или низкоэнергетическое рентгеновское излучение. В таком случае

индивидуальный эквивалент дозы определяется по показанию детектора под фильтром Ф4.

3. Результаты облучения детекторов на ^{60}Co показывают, что различия в показаниях при облучении детекторов на фантоме в кассете под окном и без кассеты и фантома за слоем оргстекла толщиной 3 мм не превышают 2%. Эти показания отличаются от показаний за слоем полиэтилена на фантоме на 10%. Из этого следует, что детекторы могут градуироваться без фантома на ^{60}Co как в кассете, так и без кассеты (за слоем оргстекла толщиной 3 мм). При этом их показания должны быть увеличены на 10% в соответствии с представленными данными.

Авторы выражают благодарность ведущему научному сотруднику ВНИИФТРИ В.А. Берлянду за облучение детекторов на источниках ^{241}Am и ^{57}Co , на рентгеновской установке и за полезное обсуждение работы.

Таблица

Отклик индивидуальных дозиметров при различных энергиях фотонного излучения

Источник	Энергия	Условия облучения		Отклик, отн.ед
		Поглощающий слой	Фильтр	
^{60}Co	1,25 МэВ	10 мм CH_2	-	$1,00 \pm 0,03$
		-	Окно	$0,88 \pm 0,06$
		-	Ф2	$0,89 \pm 0,04$
		-	Ф3	$0,90 \pm 0,06$
		-	Ф4	$0,91 \pm 0,03$
		3 мм оргстекла (без фантома)	-	$0,90 \pm 0,03$
^{137}Cs	0,662 МэВ	10 мм CH_2	-	$1,07 \pm 0,04$
		-	Окно	$1,02 \pm 0,07$
		-	Ф2	$1,00 \pm 0,04$
		-	Ф3	$1,02 \pm 0,06$
		-	Ф4	$0,93 \pm 0,04$
Рентген. уст-ка	120 кэВ	-	Окно	$0,71 \pm 0,05$
		-	Ф4	$0,11 \pm 0,01$
^{57}Co	122 кэВ	10 мм CH_2	-	$0,69 \pm 0,05$
^{241}Am	59,5 кэВ	10 мм CH_2	-	$0,58 \pm 0,03$
		-	Окно	$0,71 \pm 0,05$
		-	Ф2	$0,50 \pm 0,05$
		-	Ф3	$0,59 \pm 0,06$
		-	Ф4	$0,11 \pm 0,01$

ЛИТЕРАТУРА

1. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования. Методические указания МУ 2.6.1.25-2000. Министерство Российской Федерации по атомной энергии, Москва, 2000.
2. Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation. Safety Guide No. RS-G-1.3. International Atomic Energy Agency. VIENNA, 1999.
3. Strom E. Et al. – In.: Nat. Stand. Proc. Int. Symp. Atlanta, 1977.
4. Bartlett D.T., Steele J.D. – In.: Intercomparison for individual monitoring of external exposure from photon radiation. IAEA, 1999.
5. Приборы дозиметрические для измерения экспозиционной дозы и мощности экспозиционной дозы, поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы в воздухе фотонного излучения. Методика поверки. Методические указания МИ 1788-87. Ленинград, 1988.
6. International Organization for Standardization. X- and Gamma- Reference Radiation for Calibrating Dosimeters , ISO 4037/Part 3: Calibration of Area and Personal Dosimeters and the Measurement of Their Response as a Function of Energy and Angle of Incidence, ISO, Geneva (1998).
7. Комочков М.М., Мокров Ю.В. ОИЯИ, Р16-94-178, Дубна, 1994.

Получено 30 января 2003 г.

Касканов Г. Я., Мокров Ю. В.
Индивидуальный дозиметр фотонного излучения
на основе ТЛД ${}^{6\text{Li}}\text{F}$

P16-2003-17

Описан индивидуальный дозиметр фотонов на основе термолуминесцентных детекторов (ТЛД) ${}^{6\text{Li}}\text{F}$. Представлены экспериментально измеренные отклики дозиметра в единицах индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$ для энергий фотонов 59,5; 120; 662 и 1250 кэВ. Показано, что в диапазоне энергий от 60 до 1250 кэВ дозиметр позволяет измерять $H_p(10)$ с приемлемой неопределенностью.

Работа выполнена в Отделении радиационных и радиобиологических исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2003

Перевод авторов

Kaskanov G. Ja., Mokrov Yu. V.
Personnel Photon Dosimeter on the Base of TLD ${}^{\text{nat}}\text{LiF}$

P16-2003-17

A personnel photon dosimeter on the base of thermoluminescence detectors (TLD) ${}^{\text{nat}}\text{LiF}$ is described. Experimental responses of the dosimeters in the unit of individual equivalent dose $H_p(10)$ for energy of photons 59.5, 120, 662, and 1250 keV are presented. It is shown that the dosimeter allows one to measure $H_p(10)$ with admissible uncertainty in the energy range from 60 to 1250 keV.

The investigation has been performed at the Division of Radiation and Radiobiological Research, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2003

Редактор *М. И. Зарубина*
Макет *Н. А. Киселевой*

Подписано в печать 14.02.2003.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,62. Уч.-изд. л. 0,58. Тираж 230 экз. Заказ № 53767.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/