

P16-2005-97

Г. Я. Касканов, Ю. В. Мокров, Н. В. Пахомова

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ (ТЛД)
НА ОСНОВЕ ФТОРИДА ЛИТИЯ

Касканов Г. Я., Мокров Ю. В., Пахомова Н. В.

P16-2005-97

Сравнительные характеристики термолюминесцентных детекторов (ТЛД) на основе фторида лития

Цель работы — сравнение характеристик некоторых типов ТЛД на основе фторида лития. Представлены экспериментально измеренные характеристики детекторов: фоновые показания, чувствительности к γ -излучению ^{60}Co и ^{137}Cs , воспроизводимость, фединг, порог регистрации. Измерения проводились на приборе 2000(A+B) фирмы Harshaw. Характеристики ТЛД удовлетворяют требованиям стандарта ГОСТ Р МЭК 1066-93 для дозиметров индивидуального контроля и мониторинга окружающей среды.

Работа выполнена в Отделении радиационных и радиобиологических исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2005

Kaskanov G. Ja., Mokrov Yu. V., Pahomova N. V.

P16-2005-97

Comparative Characteristics of the Thermoluminescence of Lithium Fluoride Detectors

The aim of the report is the comparison of characteristics of some types of TLD on the base of LiF. Experimental characteristics reported are as follows: the value of zero-dose reading, response to γ radiation (from ^{60}Co and ^{137}Cs), reproducibility, fading, lowest detectable value. All measurements were performed on a Harshaw 2000(A+B) reader. The characteristics of the TLD satisfy the requirements of the IEC standard for dosimeters of personnel dosimetry and environmental monitoring.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2005

ВВЕДЕНИЕ

Долгое время одним из самых распространенных методов индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) по фотонному излучению являлся фотографический метод с использованием дозиметров на основе рентгеновской пленки. В последнее время фотографический метод практически повсеместно вытеснен термолюминесцентным методом регистрации излучения и дозиметрами, основной частью которых являются термолюминесцентные детекторы (ТЛД). Этот метод обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с фотографическим, наиболее важными из которых являются более высокие чувствительность, точность и больший диапазон измерения доз и оперативность их определения как при хроническом, так и при аварийном облучении, возможность автоматизации и повышение степени доступности информации по облучению и ее обмена с другими центрами.

В России и за рубежом в последние годы разработано и создано большое число типов ТЛД и приборов для измерения света, испускаемого детекторами при нагревании — так называемых измерителей или считывателей. ТЛД разных типов отличаются своими дозиметрическими характеристиками, формой исполнения, способом получения информации от них, эксплуатационными, стоимостными и другими параметрами.

В настоящее время наиболее приемлемыми ТЛД для индивидуальной дозиметрии фотонного излучения признаны детекторы из фторида лития с различными добавками, такие, как ТЛД-100 (LiF — Mg, Ti), ТЛД-400 (LiF — Mg, Ti), ДТГ-4 (LiF — Mg, Ti) и ТЛД-1011 (LiF — Mg, Cu, P). При выборе типа детекторов для проведения ИДК в зависимости от решаемой дозиметрической задачи необходимо знать сравнительные характеристики детекторов разных типов, т.е. однотипные характеристики, полученные в одинаковых условиях и на одном и том же считывателе. Это связано прежде всего с тем, что значения характеристик детекторов во многом зависят от считывателя, на котором они определяются. Кроме того, необходимо иметь в виду, что конкретные значения характеристик реальных партий детекторов либо не всегда известны, либо задаются в технических паспортах на детекторы своими предельными значениями, которые они не превышают. Так, чувствительность детекторов в партии не указывается в технической документации, а такая важная для определения погрешности измерения характеристика, как коэффициент вариации, задается максимальным значением, которое не может быть

превышено. Все это вызывает необходимость при выборе типа детекторов для ИДК экспериментально определять наиболее важные характеристики партий ТЛД разного типа. К таким характеристикам можно отнести собственный фон детекторов и значение дозового эквивалента фона, чувствительность детекторов к фотонному излучению, воспроизводимость показаний детекторов, порог регистрации, потерю информации облученных детекторов (феддинг).

Не менее важны для выбора типов детекторов эксплуатационные характеристики, среди которых наиболее существенными для ИДК являются режимы термической обработки (отжига), температурно-временные режимы (ТВР) измерения детекторов и связанная с ними такая характеристика, как производительность работ по определению показаний детекторов на считывателе.

Другой важной характеристикой детектора, и дозиметрической, и эксплуатационной, является способ использования детектора в дозиметре фотонного излучения для измерения $H_p(10)$. Как правило^{/1/}, ТЛД рекомендуется располагать в кассете индивидуального дозиметра за слоем вещества, эквивалентного ткани толщиной 10 мм. Это связано с определением индивидуального эквивалента дозы как значения эквивалента дозы в мягкой биологической ткани на глубине 10 мм под рассматриваемой точкой на теле. Однако это определение не задает однозначно схему измерения $H_p(10)$ для детекторов из фторида лития, так как при соответствующей градуировке дозиметра (на фантоме по величине $H_p(10)$) и при незначительной энергетической зависимости чувствительности дозиметр может измерять эту величину и без покровного слоя тканезквивалентного вещества толщиной 10 мм. Необходимо лишь наличие электронного равновесия, которое, как правило, обеспечивается использованием детектора в кассете дозиметра. Но такое предположение также нуждается в экспериментальной проверке.

Таким образом, задача экспериментального сравнительного определения характеристик ТЛД из фторида лития, выбора оптимального режима отжига и измерения детекторов и способа их использования в дозиметрах является весьма актуальной при решении вопроса об использовании детекторов такого типа для индивидуальной дозиметрии фотонного излучения.

1. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

В настоящей работе экспериментально изучены указанные выше характеристики ТЛД из фторида лития с помощью ТЛД-системы на основе измерителя 2000(A+B) фирмы Harshaw. Определение характеристик проводилось в соответствии с основополагающим стандартом на общие технические требования и методы испытаний ТЛД ГОСТ Р МЭК 1066-98^{/2/}.

Перед облучением в поле ионизирующего излучения все ТЛД проходили термическую обработку в соответствии с указанными изготовителями режи-

мами: ТЛД-1011 отжигались в течение 10 мин в кассете из титана при температуре $T = 240\text{ }^{\circ}\text{C}$ и после этого охлаждались до комнатной температуры. Остальные детекторы отжигались в течение часа при температуре $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, потом проводилось их охлаждение до комнатной температуры на радиаторе и стабилизирующий прогрев в течение двух часов при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ с последующим быстрым охлаждением до комнатной температуры.

После такой термической обработки в тот же день проводили или измерение фоновых свечений ТЛД, или облучение детекторов в поле γ -излучения ^{60}Co или ^{137}Cs на поверочной установке типа УПГД со стандартным коллимационным узлом^{/3/}. При этом детекторы находились в кассете из органического стекла с толщиной стенок 3 мм. В зависимости от требуемых условий облучения для определения различных характеристик детекторы облучались либо на водном фантоме размерами $30 \times 30 \times 15$ см, либо в воздухе.

Измерение облученных детекторов ТЛД-400, ДТГ-4 и ТЛД-100 проводили на следующие сутки на приборе фирмы Harshaw моделей 2000 (А+В) в следующем режиме:

- температура предварительного быстрого нагрева $T_{\text{пр}}=100\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- начальная температура интегрирования сигнала $T_{\text{нач}}=100\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- максимальная температура нагрева $T_{\text{макс}}=240\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- скорость линейного нагрева от $T_{\text{пр}}$ до $T_{\text{макс}}$ равна $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$;
- продолжительность измерения $t_{\text{изм}} = 30\text{ с}$.

Детекторы ТЛД-1011 измеряли в режиме, рекомендованном изготовителем:

- предварительный нагрев при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 10 с;
- скорость нагрева $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$;
- максимальная температура нагрева $240\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- время измерений 60 с;
- дополнительный отжиг (повторение цикла измерения детекторов).

В процессе измерения измерительная камера блока модели 2000 А продувалась техническим азотом со скоростью истечения 3–4 л в мин.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЛД И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные полученные результаты представлены в табл. 1 и 2 и на рис. 1–3. Ниже дается описание изучаемых характеристик, процедуры их получения и анализ полученных результатов.

В табл. 1 приведены значения фоновых показаний, порога регистрации, воспроизводимости, однородности и потери информации облученных детекторов.

В табл. 2 приведены значения чувствительности для двух значений энергий фотонного излучения и для различных условий облучения — на фантоме

Таблица 1. Сравнительные характеристики ТЛД-400, ДТГ-4, ТЛД-1011 и TLD-100

Тип ТЛД	Фоновое свечение, пКл	Порог регистрации, мЗв		Воспроизводи- мость, %		Одно- родность партии, %	Потеря инфор- мации, % в год
		Дозовый эквивалент фона	Довери- тельный интервал	Для каждого детектора	Для всех детекторов		
TLD-100	35±5	0,042	0,008	2,7	4,3	23	15
ТЛД-400	55±7	0,040	0,004	4,4	5,2	27	15
ДТГ-4	50±6	0,039	0,004	1,9	3,9	20	15
ТЛД-1011	50±6	0,004	0,002	7,3	5,8	24	–

Таблица 2. Чувствительность детекторов при различных энергиях фотонного излу- чения и условиях облучения

Источники, энергия	Условия облучения		Чувствительность	
	Поглощающий слой	Детектор	пКл/мЗв	Отн. ед.
⁶⁰ Co, 1,25 МэВ	10 мм оргстекла	ТЛД-1011	4920±120	5,84±0,21
		TLD-100	340±12	0,40±0,02
		ДТГ-4	842±24	1,00±0,03
	Без оргстекла	ТЛД-1011	5250±171	6,23±0,30
		TLD-100	341±13	0,40±0,02
		ДТГ-4	864±22	1,03±0,04
¹³⁷ Cs, 0,662 МэВ	10 мм оргстекла	ТЛД-1011	4080±118	4,85±0,20
		TLD-100	343±12	0,41±0,02
		ДТГ-4	843±24	1,00±0,04
	Без оргстекла	ТЛД-1011	4390±142	5,21±0,30
		TLD-100	342±12	0,41±0,03
		ДТГ-4	819±20	0,97±0,03
		ТЛД-400	840±70	1,00±0,04

и без фантома при наличии поглощающего слоя тканеэквивалентного веще- ства (органического стекла) толщиной 10 мм и без него.

2.1. Фоновые показания детекторов. Значение фона детекторов необ- ходимо знать для вычитания из показаний детекторов при определении доз облучения и для определения нижнего порога регистрации.

Значения показаний прибора при определении фона $E_{\Phi i}$ находятся для каждого детектора каждого типа по формуле

$$\bar{E}_{\Phi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{\Phi i}, \quad (1)$$

где n — число наблюдений; $E_{\Phi i}$ – i -е значение фона детектора

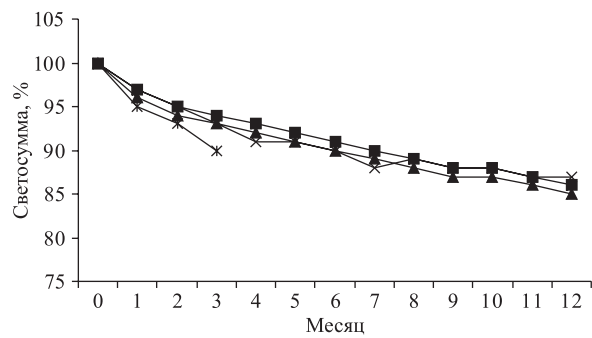


Рис. 1. Потеря информации облученных ТЛД от времени хранения

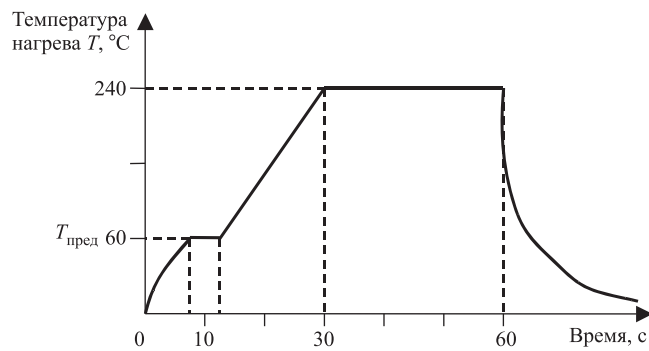


Рис. 2. График зависимости температуры нагрева от времени цикла измерения для детекторов ТЛД-1011

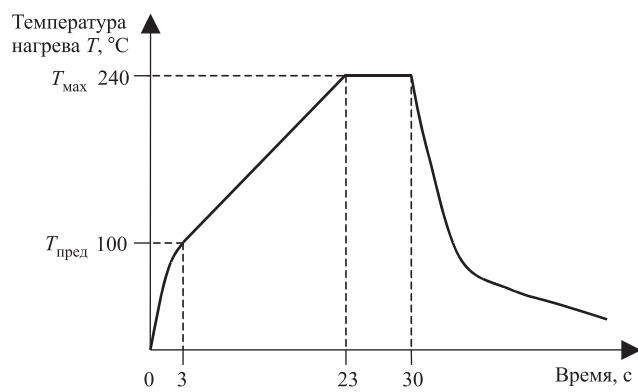


Рис. 3. График рекомендуемого режима измерений детекторов

Оценка средней квадратической погрешности (стандартного отклонения среднего значения) $S_{\bar{E}_\Phi}$ среднего значения \bar{E}_Φ вычисляется по формуле

$$S_{\bar{E}_\Phi} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (E_{\Phi i} - \bar{E}_\Phi)^2}. \quad (2)$$

Для оценки случайной погрешности среднего значения фона используется доверительный интервал при доверительной вероятности 95 %. Доверительные границы I определяются по формуле

$$I = t_q \cdot S_{\bar{E}_\Phi}, \quad (3)$$

где t_q — коэффициент Стьюдента для заданных доверительной вероятности и числа измерений.

Как видно из табл. 1, фоновые показания детекторов всех типов существенно не отличаются.

2.2. Однородность партии детекторов. Однородность партии детекторов является важной характеристикой, которая показывает отличия детекторов партии друг от друга. Чем более однородна партия, тем меньше разброс показаний детекторов при измерении одного и того же значения дозы. Такая характеристика, как однородность партии детекторов, имеет особенно важное значение в случае, когда для определения доз по показаниям детекторов в ИДК используется единый градуировочный коэффициент для всей партии. Чем более однородна партия детекторов, тем меньше погрешность определения дозы облучения, обусловленная разбросом чувствительности детекторов.

Для определения однородности партии детекторов подготавливаются и облучаются все детекторы партии одной и той же дозой, примерно равной 5 мЗв. После облучения измеряются показания детекторов E_i (значение, показываемое ТЛ-измерителем, в единицах пКл) и устанавливаются детекторы с максимальным E_{\max} и минимальным E_{\min} полученным значением.

Для детекторов ТЛД-400 и ТЛД-100 количество детекторов в партии составляло 10 000, для ДТГ-4 — 5000, для ТЛД-1011 — 20 штук.

Результаты испытаний удовлетворяют требованиям ГОСТ Р МЭК1066-93, если

$$\frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\min}} \leq 0,3. \quad (4)$$

Из анализа результатов следует, что полученные значения однородности для всех представленных детекторов не превышают 30 %. Причем при расчете погрешности измерений доз облучения могут использоваться полученные значения однородности партий, представленные в табл. 1.

2.3. Воспроизводимость показаний. В ИДК при использовании ТЛД распространены однократные измерения. При этом в дозиметре располагается не более трех однотипных детекторов из партии в несколько сотен или тысяч штук. В таком случае случайная (статистическая) составляющая суммарной погрешности не рассчитывается по результатам обработки детекторов в дозиметре, хотя она в неявном виде и присутствует в результате измерения. Поэтому в качестве случайной погрешности при использовании детекторов данной партии используется коэффициент вариации, определяемый в процессе проверки воспроизводимости показаний детекторов.

Воспроизводимость показаний детекторов определяется как значение коэффициента вариации. Коэффициент вариации (V) — это отношение стандартного отклонения S к среднему арифметическому значению \bar{E} из серии n измерений величин E_i .

Чтобы определить воспроизводимость, по 10 детекторов каждого типа подготавливались и облучались в поле γ -излучения ^{60}Co одной и той же дозой (при измерениях значение $H_p(10)$ составляло 5,45 мЗв). Данная операция повторяется 10 раз.

На приборе 2000(A+B) для каждого детектора определяются его показания E_{ji} , где j соответствует j -му детектору и i -му облучению.

После этого для каждого из 10 облучений вычисляются среднее значение \bar{E}_i и стандартное отклонение среднего значения $S_{\bar{E}_i}$ (которые вычисляются по формулам (1) и (2)).

Значение коэффициента вариации V_i для каждого из i облучений определяется по формуле

$$V_i = \frac{S_{\bar{E}_i} + I_i}{\frac{\sum_{i=1}^{10} \bar{E}_i}{10}} S_{\bar{E}_i}, \quad (5)$$

где I_i — доверительный интервал,

$$I_i(n) = t_n \sqrt{\frac{0,5}{n-1}} \cdot S_{\bar{E}_i}, \quad (6)$$

$$I(10) = 0,53 \cdot S_{\bar{E}} \quad \text{для 10 детекторов.}$$

После этого определяется значение коэффициента вариации V_j для каждого из 10 детекторов одного типа по формуле

$$V_j = \frac{S_{\bar{E}_j} + I_j}{\bar{E}_j}, \quad (7)$$

где I_j — доверительный интервал и $S_{\bar{E}_j}$ находится по формуле, аналогичной (6). Для каждого из 10 детекторов вычисляются среднее значение \bar{E}_j и стандартное отклонение среднего значения $S_{\bar{E}_j}$ (по формулам, аналогичным (1), (2)).

В табл. 1 представлены максимальные значения коэффициентов вариации как для каждого детектора, так и для всех детекторов вместе. Как видно из табл. 1, полученные значения коэффициента вариации для детекторов всех типов не превышают регламентированных 7,5 % и для некоторых детекторов значительно ниже этих величин. При расчете погрешностей определения доз облучения полученные значения коэффициента вариации могут использоваться в качестве составляющей случайной погрешности измерений.

2.4. Чувствительности детекторов к фотонному излучению. Чувствительность детекторов к фотонному излучению является одной из наиболее важных характеристик детекторов, так как ее значение используется для вычисления дозы облучения по полученным значениям показаний детекторов в качестве градуировочного коэффициента $K_{гр}$. Кроме того, значение чувствительности детекторов позволяет судить о том диапазоне доз облучения, в котором могут использоваться детекторы данного типа. Так, детекторы с высокой чувствительностью могут использоваться для измерения малых доз излучения, где могут не подходить детекторы с меньшей чувствительностью.

Чувствительность определяется как отношение отклика детектора в пКл к рассчитанному значению индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$ в мЗв:

$$K_{гр} = (E_{дет} - E_{ф}) / H_p(10), \quad (8)$$

где $E_{дет}$ — значение показаний облученных детекторов в пКл; $E_{ф}$ — значение фона детекторов.

С целью определения чувствительности детекторы облучаются на поверочной установке типа УПГД с коллиматором диаметром 60 мм γ -излучением ^{60}Co и ^{137}Cs . Доза облучения составила 5,45 мЗв при следующих условиях облучения:

- на водном фантоме за поглощающим слоем оргстекла толщиной 10 мм, имитирующем биологическую ткань;
- на фантоме без поглощающего слоя оргстекла.

Как было сказано выше, определение величины $H_p(10)$ не задает жестко схему определения этой величины с помощью ТЛД, которая предполагает наличие поглощающего слоя тканезквивалентного вещества толщиной 10 мм перед детекторами. При соблюдении ряда условий наличие такого слоя может быть не обязательным. В некоторых случаях наличие покровного слоя необходимо для обеспечения электронного равновесия, хотя чаще всего в реальных условиях применения индивидуальных дозиметров оно обеспечивается наличием, например, кассеты дозиметра. Для экспериментальной проверки возможности использовать детекторы в дозиметрах без покровного слоя они облучались при двух указанных выше условиях.

Были определены значения показаний и фона облученных детекторов каждого типа. По формуле (8) определена чувствительность каждого детектора, среднее арифметическое значение чувствительности детекторов $\overline{K}_{гр}$ и

доверительный интервал I — по формулам (1)–(3). Средние значения чувствительности для детекторов каждого типа при разных условиях облучения приведены в табл. 2.

Результаты измерений чувствительности в величинах среднего значения отклика детекторов в пКл на МэВ, т.е. средний градуировочный коэффициент $K_{гр}$, представлены в табл. 2. для детекторов каждого типа. Там же приведен доверительный интервал для среднего значения при доверительной вероятности 95 %. В таблице представлены также значения чувствительности в относительных единицах — за единицу принято значение градуировочного коэффициента для детектора ДТГ-4 при облучении ^{60}Co за поглощающим слоем 10 мм оргстекла.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Для детекторов всех типов отклик за поглощающим слоем 10 мм оргстекла и без такого поглощающего слоя остается неизменным в пределах погрешности измерений (не более 5 %) для энергии фотонов 0,661 и 1,25 МэВ. Это говорит о том, что детекторы можно использовать в указанном диапазоне энергий в качестве дозиметров и без поглощающего слоя. С учетом данных работы^{/4/} этот вывод можно распространить на более широкий диапазон энергий от 60 кэВ до 1,25 МэВ при использовании ТЛД из фторида лития в кассете (например, в кассете ИФК-2, 3). При этом неопределенность нахождения доз на уровне основного предела дозы не превысит регламентированных значений, приведенных в работе^{/1/}.

2. Отклик ТЛД-1011 на единицу дозы превышает отклик ДТГ-4 в 6 раз, а ТЛД-100 в 15 раз. Таким образом, детекторы этого типа имеют более высокую чувствительность и могут использоваться как в индивидуальной дозиметрии при измерении малых доз (например, для населения), так и в мониторинге окружающей среды.

2.5. Порог регистрации детекторов. Порог регистрации определяется в ГОСТ^{/2/} как минимальное полученное значение, при котором показание дозиметра отличается в 95 %-м доверительном интервале от показанного значения необлученного дозиметра. При этом детекторы считаются удовлетворяющими требованиям ГОСТ по порогу регистрации, если 95%-й доверительный интервал для среднего значения фоновых показаний детекторов в единицах дозы H не превышает значение 0,1 мЗв (10 мбэр) для дозиметров индивидуальной дозиметрии и 0,01 мЗв (1 мбэр) для дозиметров мониторинга окружающей среды:

$$t_n \cdot S_{\bar{E}} \leq H. \quad (9)$$

Порог регистрации определяется расчетным путем по полученным значениям показаний необлученных детекторов и результатам определения чувствительности детекторов. Из значений показаний 20 необлученных детекторов каждого типа вычитался фон прибора, полученное значение делилось на гра-

дуировочный коэффициент — определялся дозовый эквивалент собственного фона детекторов каждого типа и их среднее значение. Для каждого среднего значения находился доверительный интервал по формуле (3), который является порогом регистрации. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Как видно из представленных результатов, порог регистрации ТЛД всех типов не превышает регламентированного значения даже для детекторов мониторинга окружающей среды. В табл. 1 приведены также значения дозового эквивалента собственного фона, которые определяются как отношение фоновых показаний детекторов к их чувствительности. В некоторых приближенных оценках эта величина (или двукратная ей) часто принимается за нижний предел значения дозы, который можно измерить с помощью детекторов данного типа. Но даже при такой приближенной оценке нижний порог регистрации для детекторов всех типов не превышает 0,1 мЗв, а для ТЛД-1011 даже значения 0,01 мЗв.

2.6. Потеря информации облученных детекторов (фединг). Фединг является важной характеристикой, которая описывает потерю показаний облученных детекторов в зависимости от времени хранения. Такая характеристика, как потеря информации детекторов, имеет важное значение в случае, если персонал использует дозиметры в течение длительного периода контроля. При этом даже в предположении равномерного облучения в течение периода контроля большая потеря информации, особенно при облучении в начале периода контроля, может существенно уменьшить величину зарегистрированной дозы. Поэтому для правильного определения доз облучения по показаниям дозиметров в ИДК необходимо либо учитывать потерю информации облученного детектора с течением времени путем внесения поправок, либо оценивать ее и включать в суммарную погрешность измерения в качестве одной из составляющих.

Для определения потери информации все детекторы подготавливаются и облучаются в поле γ -излучения ^{60}Co дозой около 5 мЗв. После облучения детекторы хранятся в лабораторных условиях и через определенные промежутки времени измеряются показания в пКл нескольких детекторов каждого типа. Как правило, эти промежутки времени составляют один день после облучения и один, два, три и 12 месяцев. Находится среднее значение показаний для каждого промежутка времени и определяется отношение этого среднего значения к среднему значению через один день после облучения, которое и характеризует потерю информации. Результаты определения фединга, представленные на рис. 1, показывают, что фединг для детекторов ДТГ-4, ТЛД-400 и TLD-100 за три месяца (типичный период контроля) не превышает 5 %, за год — 15 % и незначительно отличается для указанных детекторов. Для ТЛД-1011 фединг определялся три месяца и величина его не превышает 10 %. Полученные результаты хорошо согласуются с имеющимися в литературе данными по федингу. Они также показывают, что наибольшая потеря информа-

ции происходит в течение первого месяца после облучения. В последующем этот процесс замедляется и потеря информации уменьшается. Полученные значения фединга могут использоваться в качестве поправки к результатам определения доз облучения или учитываться в суммарной погрешности определения доз в качестве составляющей дополнительной погрешности.

2.7. Анализ температурных и временных режимов измерения и отжига детекторов. Температурно-временные режимы измерения и отжига детекторов являются весьма существенными факторами при использовании ТЛД. С одной стороны, они влияют на многие технические характеристики детекторов, с другой стороны, они могут изменять такие важные для практического использования детекторов эксплуатационные параметры ТЛД-системы, как производительность и удобство работ при проведении ИДК. Так, использование в контроле разного типа детекторов с различными режимами измерений требует частой перенастройки считывателей, что может приводить к уменьшению производительности труда и ошибкам при определении доз или к выходу из строя считывателей и детекторов.

Разные типы детекторов по-разному реагируют на изменение режимов измерений. Изготовители, как правило, рекомендуют режим измерений и отжига детекторов и указывают максимальную температуру, выше которой не следует нагревать детекторы. Некоторые типы детекторов не очень критичны к варьированию режимов измерений и эти режимы могут оптимизироваться по различным параметрам, например, по соотношению показаний от эффекта и фона. Для других типов детекторов режим измерений жестко задан производителем для получения декларируемых значений характеристик детекторов.

На рис. 2 для примера показан график зависимости температуры нагрева от времени цикла измерения для ТЛД-1011.

Температурно-временные режимы измерения и термообработки (отжига) для детекторов ТЛД-400, ДТГ-4 и ТЛД-100 ранее были оптимизированы по дозиметрическим характеристикам и времени измерения (соотношению эффект-фон, федингу, диапазону измеряемых доз, времени измерения и т. д.).

Однако эти режимы не по всем параметрам удовлетворяют рекомендованному для ТЛД-1011 режиму измерений. Например, максимальная температура измерений ТЛД-1011 не должна превышать 240 °С и требуется повторное измерение детекторов. Отжиг детекторов ТЛД-400, ДТГ-4 и ТЛД-100 проводится при температуре 400 °С, при которой детекторы ТЛД-1011 не могут отжигаться.

Таким образом, ни один из рассмотренных режимов измерений и отжига не может быть использован для всех исследуемых детекторов.

В связи с этим при применении в ИДК детекторов всех четырех типов с одним прибором может возникнуть необходимость выбора единого оптимального режима измерений. Пример такого режима представлен в табл. 3. При этом предлагается температуру предварительного нагрева для всех ти-

пов детекторов принять равной 100 °С при скорости нагрева 30 °С/с. Это существенно не изменит характеристик детекторов, т.к. влияет только на вклад низкотемпературных пиков, который незначителен. Скорость нагрева выбирается равной 10 °С/с.

Различия в скорости нагрева не влияют на светосумму, лишь изменяя место положения рабочего пика. Температуру максимального нагрева при измерениях предлагается выбрать равной 240 °С (как у ТЛД-1011 и ДТГ-4). Для фотонного излучения указанная температура является достаточной для детекторов всех типов, т.к. более высокая температура необходима для измерения только смешанного излучения (фотоны, нейтроны, заряженные частицы) вследствие смещения пиков в область более высоких температур (до 300 °С). Время измерения предлагается 30 с для детекторов всех типов. Указанное время измерений на приборе 2000(A+B) является достаточным для измерения значений доз облучения в ИДК.

Однако режим термической обработки не может быть выбран единым для детекторов всех типов, т.к. ТЛД-1011 при нагревании выше 300 °С вообще становятся непригодными для измерений. Поэтому отжиг детекторов должен проводиться для детекторов каждого типа по режиму, указанному в табл. 3.

Таблица 3. Предлагаемые режимы измерения и термообработки детекторов ТЛД-400, ДТГ-4, ТЛД-1011 и TLD-100

Тип детектора	ТЛД-400	ДТГ-4	ТЛД-1011	TLD-100
Предварительный нагрев, °С	100	100	100	100
Скорость нагрева, °С/с	10	10	10	10
Температура макс. нагрева, °С	240	240	240	240
Время измерения, с	30	30	30	30
Термообработка, °С	400; 100	400; 100	200	400; 100
Время термообработки, мин	60; 120	60; 120	60	60; 120

На рис. 3 показан график зависимости температуры нагрева от времени цикла измерений для предлагаемого режима. Таким образом, предлагаемый режим измерений позволяет сократить время измерений с 60 до 30 с и исключить дополнительный отжиг ТЛД-1011 при температуре 240 °С. Это уменьшает время измерений примерно в четыре раза и значительно повышает производительность работ при проведении ИДК.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе получены некоторые характеристики ТЛД на основе фторида лития, важные для использования детекторов такого типа в инди-

видуальной дозиметрии фотонного излучения. Они могут применяться при выборе детекторов и проведении ИДК. Характеристики определены в соответствии с требованиями и по процедурам, изложенным в ГОСТ Р МЭК 1066-93. Показано, что все типы исследованных детекторов удовлетворяют требованиям, предъявляемым к детекторам для индивидуальной дозиметрии. Причем некоторые детекторы, такие как ТЛД-1011, имеют более высокую чувствительность и меньший порог регистрации в сравнении с другими детекторами из фторида лития и могут применяться также для измерения малых доз в окружающей среде. Показана возможность использования детекторов в индивидуальных дозиметрах без покровного слоя тканеэквивалентного вещества толщиной 10 мм в случае соблюдения электронного равновесия. Предложен режим измерений, оптимальный и пригодный для детекторов всех изученных типов, который позволяет повысить производительность работ при проведении ИДК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания МУ 2.6.1.25-2000. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования. ДБЧС МАЭ РФ, Федеральное управление «Медбиоэкстрем» Минздрава России. 2000. // Методическое обеспечение радиационного контроля на предприятии. М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, Федеральное управление медико-биологических и экстремальных проблем. Том. 1, 2001. С. 80.
2. Системы дозиметрические термолюминесцентные для индивидуального контроля и мониторинга окружающей среды. ГОСТ Р МЭК 1066-93, М.: Изд-во стандартов, 1993.
3. *Гарапов Э. Ф. и др.* Методы и средства поверки приборов для измерения ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1978.
4. *Касканов Г. Я., Мокров Ю. В.* Сообщение ОИЯИ Р16-2003-17, Дубна, 2003.

Получено 28 июня 2005 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 28.09.2005.

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

Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд. л. 1,02. Тираж 230 экз. Заказ № 55032.

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/