

Аппаратурное, метрологическое и методическое обеспечение измерений направленных эквивалентов доз

Рассматривается роль направленных эквивалентов дозы в дозиметрии внешнего облучения, аппаратурное, метрологическое и методическое обеспечение измерений направленных эквивалентов дозы фотонного и бета-излучений. Обсуждаются вопросы калибровки дозиметров RAM ION по направленным эквивалентам дозы фотонного и бета-излучения, применения дозиметров RAM ION для дозиметрии импульсного фотонного излучения.

Ключевые слова: слабопроникающие излучения, направленные эквиваленты дозы, дозы в коже и хрусталике глаза, дозиметрия импульсного излучения.

К.Нурлыбаев, Ю.Н.Мартынюк (НПП «Доза», г. Зеленоград); Д.Гинзбург (Rotem Industries Ltd, Израиль)

Введение. В Международных основных нормах безопасности [1] и в НРБ-99/2009 [2], кроме годовых эффективных доз персонала и населения, нормируются также и годовые эквивалентные дозы облучения хрусталика глаза, кожи, кистей и стоп.

Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ) в докладе 57 [3] и Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) в публикации 74 [4] ввели операционные величины для оценки неизмеряемых нормируемых величин. Для дозиметрического контроля рабочих мест (ДКРМ) введены операционные величины: направленные эквиваленты доз $H'(d, \Omega)$ для глубины d мм, соответствующей толщине мягкой биологической ткани (МБТ), за которой измеряется доза.

В 2016 г. утверждены новые методические указания [5-7], излагающие методологию и практи-

ческую реализацию системы радиационного контроля на предприятиях атомной отрасли РФ и вводящие операционные величины в дозиметрии: направленные эквиваленты доз $H'(d, \Omega)$.

Направленные эквиваленты доз. Рабочие величины, рекомендованные для контроля рабочих мест, определяются в фантоме, известном как сфера МКРЕ [8]. Это сфера из тканеэквивалентного материала, имеющая диаметр 30 см, плотность 1 г/см^3 и элементный состав (по массе): 76,2 % кислорода; 11,1 % углерода; 10,1 % водорода и 2,6 % азота.

Определение направленного эквивалента дозы приведено в [9] следующим образом: «Эквивалент направленной дозы $H'(d, \Omega)$ в точке поля излучения — это эквивалент дозы, которая формируется соответствующим широким полем в стандартной сфере МКРЕ на глубине d по радиусу, ориентированному в дан-

ном направлении Ω . В любое определение эквивалента направленной дозы следует включать указание характерной глубины d и направления излучения Ω ».

На практике направленные эквиваленты доз $H'(d, \Omega)$ определяются как $H'(z, \Omega)$ для глубины 3 мм, соответствующей толщине мягкой биологической ткани (МБТ), за которой измеряется доза в хрусталике, и $H'(0,07, \Omega)$ для глубины 0,07 мм, за которой измеряется доза в коже.

Определение AMBIENTНОГО эквивалента дозы дано там же [9]: «Эквивалент AMBIENTНОЙ дозы $H^*(d)$ в точке поля излучения определяется как эквивалент дозы, который был бы создан соответствующим широким и направленным полем в сфере МКРЕ на глубине d от поверхности сферы по радиусу, ориентированному навстречу направлению этого поля».

Отличие между двумя вышеприведенными определениями эквивалентов доз состоит в том, что

отличаются поля излучения, формирующие эти дозы. В случае направленного эквивалента дозы формирующее его поле «широкое», а в случае амбиентного эквивалента дозы оно «широкое и направленное».

Определение этих полей также приведено в [9]: «*Широким полем является такое, в котором флюенс, его угловое и энергетическое распределение не изменяются во всем интересующем объеме и соответствуют значениям фактического поля в точке контроля. В широком и направленном поле флюенс и его энергетическое распределение являются такими же, как и в широком поле, но флюенс является однонаправленным.*»

Для дальнейших рассуждений об операционных величинах нам необходимы определения понятий «слабопроникающих» и «сильнопроникающих» излучений, данные в докладе 39 МКРЕ [10]: «*Если при заданной ориентации тела в однородном и однонаправленном поле излучения эквивалентная доза, получаемая любым малым участком чувствительного слоя кожи, более чем в десять раз превышает эффективную дозу, то говорят, что излучение является слабопроникающим. Если же эквивалентная доза менее чем в десять раз превышает эффективную дозу, то такое излучение называют сильнопроникающим.*»

Сильнопроникающие излучения глубоко проникают в тело, создают дозы во внутренних органах и дают вклад в эффективную дозу, слабопроникающие же излучения не могут проникнуть в тело и создают дозы во внешних органах: в хрусталике глаза и коже. Облучение кистей и стоп также относится к облучению их кожи. Кожа покрывает все тело человека, и для дозы в коже направ-

ление излучения не играет роли. Доза же в хрусталике глаза не дает вклад в эффективную дозу, т. к. облучение хрусталика глаза приводит только к детерминированным эффектам [11].

На практике эквивалент дозы всего тела человека, обусловленный сильнопроникающим излучением, определяется как индивидуальный эквивалент дозы $H_p(10)$ (для глубины 10 мм), дающий консервативную оценку дозы облучения внутренних органов.

Требование «широкого» поля в определении «эквивалентов доз» обусловлено тем, что вышеуказанные эквиваленты доз определяются в сфере МКРЕ диаметром 30 см, и для проведения их расчетов необходимо нахождение данной сферы целиком в рассматриваемом поле. Требование «направленного» поля в данном определении связано с тем, что для расчетов доз от сильнопроникающего излучения важны ориентации тела в поле и проекции облучения для расчетов доз во внутренних органах, имеющих разные чувствительности к излучению.

Роль направленных эквивалентов доз в дозиметрии. Измерения направленных эквивалентов доз производятся при дозиметрическом контроле рабочих мест (ДКРМ). В табл.1 приведены операционные величины из публикации 103 МКРЗ [12].

ДКРМ для оценки эквивалентных доз внешнего облучения заключается в измерениях значений направленных эквивалентов доз

на рабочих местах с целью оценки непревышения дозовых пределов (эквивалентных доз) или сравнения прогнозируемых эквивалентных доз с уровнем введения ИДК, U_{BK} . В отсутствие результатов измерений направленных эквивалентов доз для оценки ожидаемых доз в коже и хрусталике глаза приходилось ставить натуральный эксперимент с индивидуальными дозиметрами $H_p(0,07)$, $H_p(3)$. На приобретение считывающего устройства и индивидуальных дозиметров $H_p(0,07)$, $H_p(3)$, а затем на работу с накоплением доз на этих дозиметрах затрачивались значительные временные (месяцы) и материальные ресурсы с получением результатов оценки доз постфактум.

Измерения на рабочих местах направленных эквивалентов доз $H'(0,07, \Omega)$, $H'(3, \Omega)$ и оценка ожидаемых доз в коже и хрусталике глаза занимают совсем немного времени (часы).

Аппаратурное обеспечение измерений $H'(0,07, \Omega)$ и $H'(3, \Omega)$.

Дозиметр RAM ION компании ROTEM Industries (Израиль) [13] прошел испытания и внесен в Федеральный информационный фонд средств измерений РФ в 2016 г.

Дозиметр RAM ION обеспечивает измерение величин $H^*(10)$, $H'(3, \Omega)$ и $H'(0,07, \Omega)$ фотонного и бета-излучения в соответствии с их определениями: измерение $H^*(10)$ проводится ионизационной камерой с толщиной стенки 10 мм из тканеэквивалентного ве-

Табл. 1. Операционные величины в дозиметрии.

Задача	Операционные дозовые величины для:	
	Мониторинга среды	Индивидуального мониторинга
Контроль эффективной дозы	Амбиентный эквивалент дозы, $H^*(10)$	Индивидуальный эквивалент дозы, $H_p(10)$
Контроль доз в коже, кистях рук и ступнях ног и в хрусталике глаза	Направленные эквиваленты дозы, $H'(0,07, \Omega)$, $H'(3, \Omega)$	Индивидуальный эквивалент дозы, $H_p(0,07)$, $H_p(3)$

щества (ТЭВ), $H'(3, \Omega)$ и $H'(0,07, \Omega)$ с толщинами стенок 3 и 0,07 мм соответственно. Схема измерения дозиметром RAM ION величин $H'(3, \Omega)$ и $H'(0,07, \Omega)$ и внешний вид дозиметра RAM ION для измерения величины $H^*(10)$ показаны на рис. 1 и 2.

Как видно из схемы измерения, торцевая стенка ионизационной камеры дозиметра RAM ION имеет толщину стенки 0,07 мм, поэтому для измерения величин $H'(0,07, \Omega)$ дозиметр должен быть направлен торцевой стенкой камеры в сторону контролируемых объектов (источника, поверхности и т. д.). Расстояние от объекта должно соответствовать реальным расстояниям кожи рук (лица) персонала от контролируемого объекта в процессе работы.

Для измерений величины $H'(3, \Omega)$ используется насадка на торец камеры дозиметра RAM ION, создающая совместно с торцевой стенкой камеры толщину 3 мм ТЭВ. Анизотропия чувствительности дозиметра RAM ION при измерениях величины $H'(3, \Omega)$ обусловлена лишь конструкцией камеры, расположением электродов камеры, наличием измерительного пульта.

В связи с необходимостью получения консервативной оценки дозы при измерениях эквивален-

тов доз $H'(0,07, \Omega)$ и $H'(3, \Omega)$ нужно вращать дозиметр и регистрировать максимальные значения $H'(0,07, \Omega)$ и $H'(3, \Omega)$.

Метрологическое обеспечение измерений $H'(3, \Omega)$ и $H'(0,07, \Omega)$.

Метрология дозиметрических измерений фотонного и бета-излучения регулируется стандартами:

– ГОСТ 8.070-2014 Государственная поверочная схема для средств измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы, эквивалента дозы и мощности эквивалента дозы фотонного и электронного излучений [14];

– ГОСТ Р 8.804-2012 Государственная поверочная схема для средств измерений кермы в воздухе, мощности кермы в воздухе, экспозиционной дозы, мощности экспозиционной дозы, амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы и потока энергии рентгеновского и гамма-излучений [15].

Поверочная схема ГОСТ 8.070-2014 разработана специалистами Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) и осно-

вана на применении эталонов поглощенной дозы. В соответствии с данным документом (п.5.1):

«В качестве рабочих средств измерений применяют дозиметры мощности эквивалента дозы (амбиентного, индивидуального, направленного) с диапазоном измерения от $1 \cdot 10^{-8}$ до $5 \cdot 10^{-1}$ Зв/с» (т. е. от 36 мкЗв/ч до 18 000 Зв/ч).

Поверочная схема ГОСТ Р 8.804-2012 разработана специалистами Всероссийского научно-исследовательского института метрологии (ВНИИМ) и основана на применении эталонов кермы фотонного излучения. В соответствии с данным документом (п.5.1):

«В качестве средств измерений применяют:

... дозиметры мощностей амбиентного, направленного, индивидуального эквивалентов дозы от $3 \cdot 10^{-11}$ до $3 \cdot 10^{-2}$ Зв/с» (т. е. от 1,08 мкЗв/ч до 10^8 Зв/ч).

Таким образом, измерения направленных эквивалентов доз в РФ имеют метрологическое обеспечение. Но следует иметь в виду, что в соответствии с вышеуказанными поверочными схемами метрологическое обеспечение измерений мощностей амбиентного, направленного, индивидуального эквивалентов доз фотонного излучения ниже значения 1,08 мкЗв/ч в РФ отсутствует.

Калибровка дозиметров по $H'(3, \Omega)$ и $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения.

Калибровку дозиметров по величине направленного эквивалента дозы $H'(0,07, 0^\circ)$ упрощает то обстоятельство, что между энергиями фотонов 0,3 МэВ и 10 МэВ значения $H'(0,07, 0^\circ)$ и амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ совпадают полностью [3], поэтому калибровка по величине $H'(0,07, 0^\circ)$ проводится при энергии 662 кэВ излучения

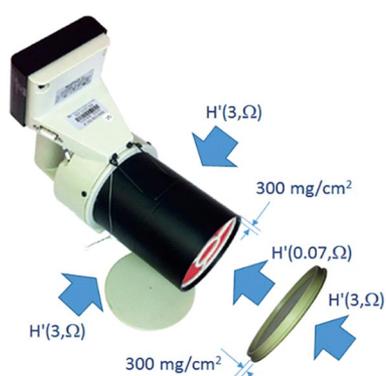


Рис. 1. Схема измерения величин $H'(3, \Omega)$ и $H'(0,07, \Omega)$ дозиметром RAM ION.



Рис. 2. Дозиметр RAM ION для измерения величины $H^*(10)$.

Cs-137. Зависимости отношений $H'(0,07,0^\circ)$ и $H^*(10)$ к керме в воздухе от энергии фотонов в графическом виде приведены на рис.3 из [16]. В связи с отсутствием международных согласованных значений коэффициентов перехода между кермой в воздухе и $H'(3,0^\circ)$, на рисунке также приведена зависимость отношения поглощенной дозы в хрусталике глаза $D_T(3)$ к керме в воздухе из [3].

Если поле является однонаправленным, то направление Ω определяется как угол между радиусом, направленным навстречу излучению, и радиусом, ориентированным в выбранном направлении. Когда выбранный радиус параллелен полю излучения (т. е. когда $\Omega = 0^\circ$), величина $H'(d,0^\circ)$ может быть записана просто как $H'(d)$. Кроме того, в однонаправленном поле $H'(d) = H^*(d)$. Для измерения $H'(d,\Omega)$ необходимо, чтобы поле было однородным в чувствительном объеме детектора, а детектор имел соответствующую зависимость чувствительности от угла падения излучения. При слабопроникающем излучении детектор, который определя-

ет эквивалент дозы на рекомендованной глубине в параллелепипеде из тканеэквивалентного материала, будет адекватно определять $H'(0,07)$ и $H'(3)$ при условии, что поверхность параллелепипеда перпендикулярна направлению поля излучения.

Калибровка дозиметров по $H'(3,\Omega)$ и $H'(0,07,\Omega)$ бета-излучения. Как указано выше, дозиметр RAM ION обеспечивает измерение величин $H'(3,\Omega)$ и $H'(0,07,\Omega)$ фотонного и бета-излучения в соответствии с их определениями: измерение величин $H'(3,\Omega)$ и $H'(0,07,\Omega)$ проводится ионизационной камерой с толщинами стенки 3 мм и 0,07 мм соответственно. Следовательно корректность измерения величин $H'(3,\Omega)$ и $H'(0,07,\Omega)$ фотонного и бета-излучения дозиметром RAM ION определяется конструкцией камеры и проверяется на этапе испытаний с целью утверждения типа. Корректность же измерения величин $H'(3,\Omega)$ и $H'(0,07,\Omega)$ бета-излучения дозиметром RAM ION, прошедшего испытания с целью утверждения ти-

па и откалиброванного по величинам $H'(3,\Omega)$ и $H'(0,07,\Omega)$ фотонного излучения, определяется лишь неизменностью конструкции и материалов камеры. Периодическая поверка дозиметров RAM ION по $H'(3)$ и $H'(0,07)$ проводится только по фотонному излучению, а калибровка дозиметров по $H'(3)$ и $H'(0,07)$ бета-излучения проводится поставщиком в целях выборочного входного контроля.

В стандарте ИСО 6980-3 [17] и докладе 57 МКРЕ [3] приведены коэффициенты перехода от флюенса ($1/\text{см}^2$) и поглощенной дозы (Гр) к направленному и индивидуальному эквивалентам дозы (Зв) для разных источников бета-излучения, углов падения и расстояний.

В ГОСТ 8.035-82 Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы бета-излучения [18] описан государственный эталон поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы бета-излучения с энергиями 20–3000 кэВ на основе

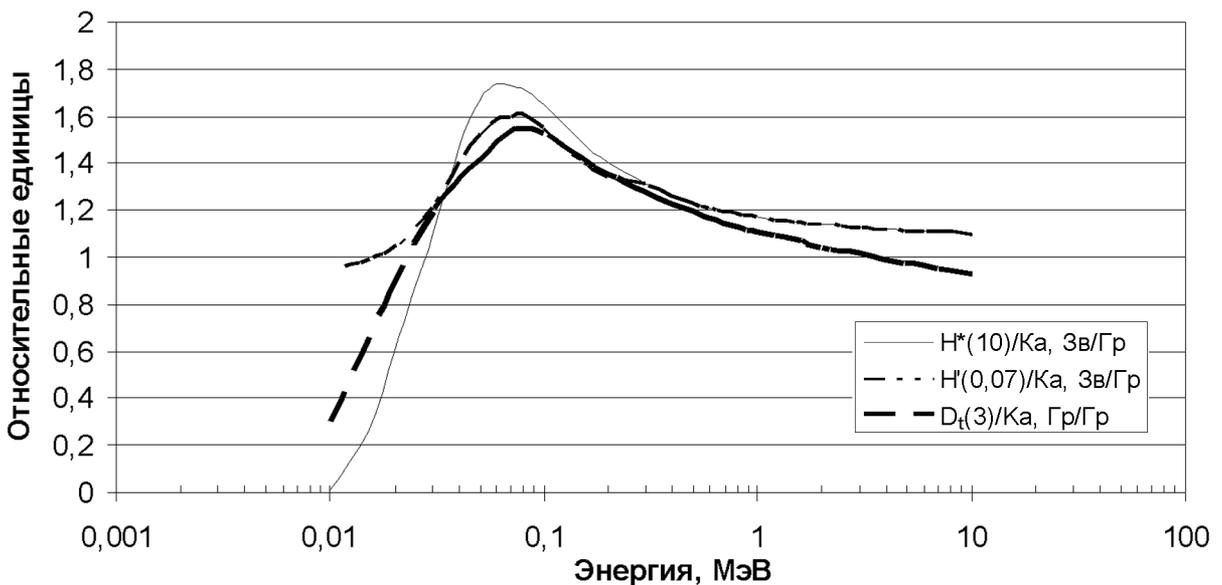


Рис.3. Зависимости коэффициентов перехода от кермы в воздухе к эквивалентам доз $H'(0,07)$, $H^*(10)$ и поглощенной дозе $D_T(3)$ для фотонного излучения от энергии фотонов.

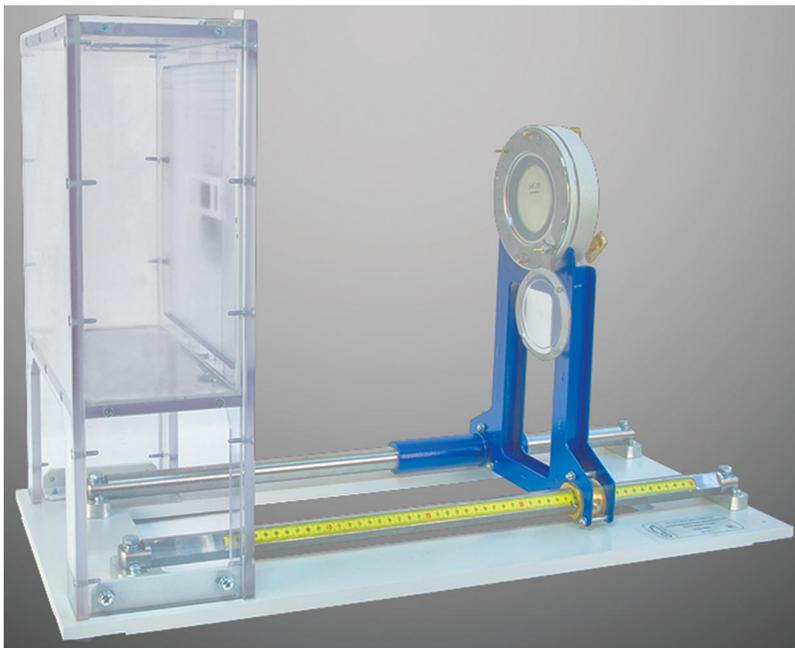


Рис.4. Установка для поверки дозиметров бета-излучения УПБ-ИД.

экстраполяционных тканеэквивалентных ионизационных камер и источников стронций-90 и иттрий-90, таллий-204 и prometий-147.

Разработана, испытана и внесена в Федеральный информационный фонд средств измерений установка для поверки дозиметров бета-излучения УПБ-ИД [19], внешний вид которой показан на рис.4.

Установка УПБ-ИД передает единицы поглощенной дозы бета-излучения в тканеэквивалентном веществе на разных глубинах, в том числе и 7 мг/см^2 , и 300 мг/см^2 . Переход к единицам направленных эквивалентов доз в тканеэквивалентном веществе $H'(0,07,0^\circ)$, $H'(3,0^\circ)$ в Зивертах от единиц флюенса и поглощенной дозы бета-излучения в Грехах осуществляется с использованием переходных коэффициентов, рекомендованных стандартом ИСО 6980-3 [17] и докладом 57 МКРЕ [3].

Методическое обеспечение измерений $H'(3, \Omega)$ и $H'(0,07, \Omega)$. Для измерения эквивалента амбиентной дозы $H^*(d)$ необходимо,

чтобы поле излучения было однородным в пределах чувствительного объема детектора, а детектор имел изотропную чувствительность. Измерение же направленных эквивалентов доз предполагает анизотропию чувствительности детектора. Поэтому в публикации 103 МКРЗ [11] указано: «(В 167) При мониторинге слабопроникающего излучения в среде почти всегда используется $H'(0,07, \Omega)$. При падении однонаправленного излучения, что обычно происходит при калибровке оборудования, эта величина может быть записана в виде $H'(0,07, \alpha)$, где α – угол между направлением Ω и направлением, противоположным направлению падения излучения».

При рассмотрении вышеуказанного утверждения публикации 103 МКРЗ надо иметь в виду то, что данная публикация выпущена до введения нового дозового предела на хрусталик глаза.

Далее в публикации 103 сказано: «В практике радиационной защиты направление Ω часто не устанавливается, потому что

интерес представляет максимальное значение $H'(0,07, \Omega)$. Оно обычно получается вращением измерителя мощности дозы во время проведения измерения и регистрацией максимального показания прибора».

Дозиметрия импульсного излучения с применением дозиметра RAM ION. В стандарте Международной электротехнической комиссии (МЭК) 62743 «Электронные счетные дозиметры для импульсных полей ионизирующего излучения» [20] даны определения временных характеристик излучений с использованием величины мощности дозы:

– *импульсное излучение: применительно к дозиметрии рабочих мест и индивидуальной дозиметрии* ионизирующее излучение, в поле которого в данной точке пространства значение мощности дозы никогда не будет постоянным в течение времени более 10 с;

– *непрерывное излучение: применительно к дозиметрии рабочих мест и индивидуальной дозиметрии* ионизирующее излучение, в поле которого в данной точке пространства значение мощности дозы будет постоянным в течение времени более 10 с, если пренебречь временами включения и выключения поля».

Уточнения в определениях «применительно к дозиметрии рабочих мест и индивидуальной дозиметрии» приведены в связи с тем, что период времени 10 с взят из требований стандартов по электронным переносным и стационарным дозиметрам МЭК 60846-1, МЭК 60532 [21,22] и по индивидуальным электронным дозиметрам МЭК 61526 [23] о том, что электронные дозиметры должны обнаруживать изменения мощности дозы в течение 10 секунд.

Характеристиками полей непрерывного излучения являются:

- вид излучения (фотоны, нейтроны и бета-частицы);
- диапазон энергий излучения;
- мощность дозы излучения.

Характеристиками полей импульсного излучения являются:

- вид излучения (фотоны, нейтроны и бета-частицы);
- диапазон энергии частиц;
- длительность импульса;
- частота импульсов;
- доза за импульс;
- мощность дозы излучения за импульс.

Компанией Rotem Industries Ltd в 2014 г. были проведены успешные испытания дозиметра RAM ION в полях фотонного импульсного излучения аппаратов для неразрушающего контроля [24]. Перевод статьи [24] с описанием испытаний приведен в настоящем журнале [25]. Характеристики дозиметров RAM ION при дозиметрии импульсных излучений различных генераторов будут в ближайшее время исследованы на эталонах ВНИИМ.

Заключение. В Федеральный информационный фонд средств

измерений РФ внесен дозиметр RAM ION, измеряющий направленные эквиваленты доз $H'(0,07,\Omega)$ и $H'(3,\Omega)$. В РФ действуют государственные эталоны и поверочные схемы для передачи размеров единиц $H'(0,07,0^\circ)$ и $H'(3,0^\circ)$. Благодаря тому, что в широком диапазоне энергии фотонов значения величин $H^*(10)$, $H'(3,0^\circ)$ и $H'(0,07,0^\circ)$ практически совпадают, калибровка и периодическая поверка дозиметров RAM ION по этим величинам проводятся только по фотонному излучению источника цезий-137. Корректность измерения величин $H'(3,0^\circ)$ и $H'(0,07,0^\circ)$ бета-излучения дозиметром RAM ION определяется конструкцией камеры и проверяется на этапе испытаний с целью утверждения типа, а калибровка

дозиметров по направленным эквивалентам доз бета-излучения проводится поставщиком лишь в целях выборочного входного контроля.

Компанией Rotem Ind. были проведены испытания дозиметра RAM ION в полях фотонного импульсного излучения; в ближайшее время будут проведены исследования характеристик этого дозиметра при измерении импульсных излучений на эталонах ВНИИМ.

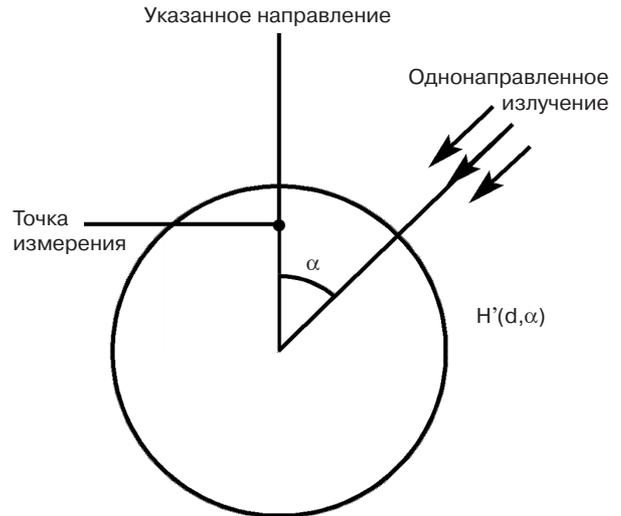


Рис.5. Схема определения направленного эквивалента дозы $H'(d,\alpha)$ при однонаправленном излучении.

Литература

1. IAEA General Safety Requirements № GSR Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011.
2. СанПин 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы. М.: Роспотребнадзор, 2009.
3. ICRU Report No.57. Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation. ICRU, Bethesda, MD, 1998.
4. ICRP Publication No.74. Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation, ICRP, Pergamon Press, Oxford, 1997.
5. МУ 2.6.5.028-2016. Методические указания. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организаций контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования. Федеральное медико-биологическое агентство, 2016.
6. МУ 2.6.5.008-2016. Методические указания. Контроль радиационной обстановки. Общие требования. Федеральное медико-биологическое агентство, 2016.
7. МУ 2.6.5.037-2016. Методические указания. Контроль эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза. Федеральное медико-биологическое агентство, 2016.
8. ICRU Report No.51. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU, Bethesda, MD, 1993.

Литература (продолжение)

9. МАГАТЭ. Серия норм безопасности, № RS-G-1.3. Оценка профессионального облучения от внешних источников ионизирующего излучения. МАГАТЭ, Вена, 1999.
10. ICRU Report No.39. Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources. ICRU, Bethesda, MD, 1985.
11. Проблемы дозиметрии хрусталика глаза. С.И.Иванов и др. Медицинская радиология и радиационная безопасность, 4, 2014.
12. МКРЗ. Доклад 103. Рекомендации 2007 года Международной Комиссии по Радиационной защите. ООО ПКФ «Алана», 2009.
13. Дозиметры RAM ION. Описание типа средства измерений. Приложение к свидетельству № 64658, www.vniims.ru.
14. ГОСТ 8.070-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы, эквивалента дозы и мощности эквивалента дозы фотонного и электронного излучений.
15. ГОСТ Р 8.804-2012. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений кермы в воздухе, мощности кермы в воздухе, экспозиционной дозы, мощности экспозиционной дозы, амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы и потока энергии рентгеновского и гамма-излучений.
16. IRPA 2000, Dosimetric concepts and calibration of instruments, Dietze, G., Hiroshima, 2000.
17. ISO 6980-3. Nuclear energy. Reference beta-particle radiation. Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the determination of their response as a function of beta radiation energy and angle of incidence, 2006.
18. ГОСТ 8.035-82. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы бета-излучения.
19. Установки для поверки индивидуальных дозиметров бета-излучения УПБ-ИД. Описание типа средства измерений. Приложение к свидетельству № 43705, www.vniims.ru.
20. IEC/TS 62743, (2012-09) Ed.1.0 Technical Specification. Radiation protection instrumentation – Electronic counting dosimeters for pulsed fields of ionizing radiation.
21. IEC 60846-1, 2009-04. Radiation protection instrumentation. Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation. Part 1: Portable workplace and environmental meters and monitors.
22. IEC 60532, 2010-08. Ed. 3.0 Radiation protection instrumentation. Installed dose rate meters, warning assemblies and monitors. X and gamma radiation of energy between 50 keV and 7 MeV.
23. IEC 61526 ed 3, 2010-07. Radiation protection instrumentation. Measurement of personal dose equivalents Hp(10) and Hp(0,07) for X, gamma, neutron and beta radiations. Direct reading personal dose equivalent meters.
24. Ionisation Chamber for Measurement of Pulsed Photon Radiation Fields. D. Ginzburg, Radiation Protection Dosimetry, 2016. P. 1-5.
25. Гинзбург Д. Ионизационная камера для измерений в полях импульсного фотонного излучения. АНРИ №2(89), 2017. С. 18-24.

Instrumental, Metrological and Methodical Support of Measurements of Directional Dose Equivalents

Nurlybaev Kubeyzin, Martyniuk Yury (SPC Doza, Zelenograd, Russia);
Ginzburg Dmitry (Rotem Industries Ltd, Israel)

Abstract. The operational quantities from the international system of quantities and units for external dose assessment are introduced – directional dose equivalents used in the external dosimetry involving weakly penetrating radiation. The role of directional dose equivalents in the external dosimetry and the instrumental, metrological and methodical support of directional dose equivalent measurements in the fields of photon and beta radiation are reviewed. Aspects of RAM ION dosimeters calibration in terms of directional dose equivalents of photon and beta radiation and application of RAM ION dosimeters for dosimetry of pulsed photon radiation are discussed.

Key words: *weakly penetrating radiation, directional dose equivalent, doses in the skin and lens of the eye, dosimetry of pulsed radiation.*

К.Нурлыбаев (к.т.н., гл.н.с.), Ю.Н.Мартынюк (к.ф.-м.н., гл.конст.) – НПП «Доза», г. Зеленоград, Россия. Д.Гинзбург (зав.отд.) – Rotem Industries Ltd, Отдел радиационного контроля, Израиль.

Контакты: Тел. +7 (495) 777-84-85. E-mail: kubesh@doza.ru.