Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование

Российской Федерации

2.6.5. Атомная энергетика и промышленность

Контроль эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза

Методические указания
МУ 2.6.5.037- 2016

Издание официальное

Москва
2016

gost.e-ecolog.ru

1. Разработаны Федеральным медицинским биофизическим центром им. А.И. Бурназяна ФМБА России (к.т.н. Кочетков О.А., к.т.н. Абрамов Ю.В., д.т.н. Клочков В.Н.), НПП «Доза» (к.т.н. Нурлыбаев К. – руководитель разработки, к.ф.-м.н. Мартынюк Ю.Н., к.ф.-м.н. Каракаш А.И.).

2. Рекомендованы к утверждению Подкомиссией по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию ФМБА России
(протокол от 27 мая 2016 г. № 06/2016).

3. Утверждены заместителем руководителя ФМБА России, главным государственным санитарным врачом ФМБА России В.В. Романовым 27 мая 2016 г.

4. Дата введения в действие – с момента утверждения.

5. С введением в действие настоящего документа отменяются МУ 2.6.1.56-2002 «Контроль эквивалентной дозы облучения фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза».

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 4

2. Цели контроля эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза 5

3. Дозиметрические величины 5

4. Определение эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза с помощью ИДК 9

5. Определение дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза посредством дозиметрического контроля рабочих мест 11

6. Требования к метрологическому, методическому и аппаратурному обеспечению дозиметрии облучения кожи и хрусталика 12

Приложение 1. Требования к дозиметрам для контроля облучения кожи и хрусталика 15

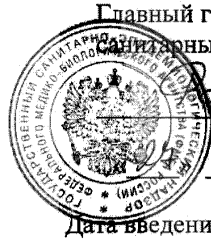
Приложение 2. Особенности дозиметрии импульсного излучения 22

Приложение 3. Проведение текущего и оперативного ИДК 26

Приложение 4. Список литературы 28

Приложение 5. Список исполнителей 30

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель руководителя
Федерального медико-
биологического агентства,
Главный государственный
санитарный врач ФМБА России



_____ В.В. Романов

05 _____ 2016 г.

Дата введения – с момента утверждения

2.6.5. Атомная энергетика и промышленность

Контроль эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза

Методические указания
МУ 2.6.5.037- 2016

1. Общие положения

1.1. Настоящие методические указания (далее – МУ) развивают основные положения МУ «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения». Общие требования», НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 применительно к контролю эквивалентных доз фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза.

1.2. МУ устанавливают общие требования к индивидуальному дозиметрическому контролю (далее – ИДК) внешнего облучения кожного покрова и хрусталика глаза персонала.

1.3. МУ распространяются на систему организации и осуществления ИДК внешнего облучения кожи и хрусталика глаза персонала при работах в полях фотонного и бета-излучения от техногенных источников ионизирующего излучения (далее – ИИИ) в условиях планируемого облучения.

1.4. МУ предназначены для использования в организациях Госкорпорации «Росатом» и на других заинтересованных предприятиях, осуществляющих контроль внешнего облучения кожного покрова и хрусталика глаза персонала в реальных условиях облучения, а также в организациях, разрабатывающих приборное и методическое обеспечение радиационного контроля.
1.5. Методики радиационного контроля, разрабатываемые на основе данных МУ, должны утверждаться главным инженером организации радиационного объекта ГК «Росатом» и согласовываться с территориальным органом ФМБА России, осуществляющим федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор и регулирование в области обеспечения радиационной безопасности при использовании атомной энергии.
1.6. В связи с расширением применения источников импульсного излучения в МУ отдельно рассматривается дозиметрия в импульсных полях излучений. Проблемы дозиметрии импульсных полей излучения, где при небольшом среднем значении мощности дозы значения мощности дозы в импульсах могут существенно превышать измерительные возможности электронных дозиметров, обсуждаются в Приложении 2 к МУ.

2. Цели контроля эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза

2.1. В условиях планируемого облучения результатом контроля дозы профессионального облучения является консервативная оценка значений нормируемых величин облучения персонала, регламентированных в НРБ-99/2009.
2.2. ИДК имеет своей целью оценку значений полученных персоналом эквивалентной дозы в коже и хрусталике глаза.
2.3. В условиях планируемого облучения дозиметрический контроль рабочих мест имеет целью прогноз дозы в коже и хрусталике глаза персонала на контролируемых рабочих местах и получение информации о радиационной обстановке на рабочих местах персонала.

3. Дозиметрические величины

3.1. Современная система дозиметрических величин включают в себя:
- физические величины,
- нормируемые величины,
- операционные величины.

3.2. НРБ-99/2009 предписывают оценивать облучение персонала техногенными источниками ионизирующего излучения в единицах нормируемых величин, являющихся мерой ущерба от воздействия излучения на человека и не поддающихся непосредственному измерению.

В международных документах МКРЕ, МКРЗ и МАГАТЭ для соблюдения указанных требований введены операционные величины. Операционные величины однозначно определяются через физические величины и являются измеряемыми величинами. Значения операционных величин являются консервативными оценками нормируемых величин в стандартных условиях облучения. Дозиметрические приборы откалиброваны в значениях операционных величин.

3.3. Основными физическими величинами являются поглощенная доза Д и флюенс частиц Ф.

3.4. Нормируемой величиной, характеризующей облучение кожи персонала группы А в условиях планируемого облучения, является годовая эквивалентная доза облучения кожи, равная 500 мЗв/год.

Нормируемой величиной, характеризующей облучение хрусталика глаза персонала группы А в условиях планируемого облучения, является годовая эквивалентная доза облучения хрусталика глаза, равная 150 мЗв/год.

3.5. Согласно п.3.2.2 НРБ-99/2009, в случае облучения персонала группы А в условиях планируемого повышенного облучения нормируются дозиметрические величины, представленные в таблице 1. НРБ-99/2009 определены граничные значения дозы планируемого повышенного облучения, превышение которых в течение года должно рассматриваться как потенциально опасное.

Таблица 1 – Нормируемые величины планируемого повышенного облучения и граничные значения дозы облучения

Нормируемая величина	**Граничное значение, мЗв**
Эквивалентная доза планируемого повышенного облучения хрусталика глаза	600
Эквивалентная доза планируемого повышенного облучения кожи	2000
Эквивалентная доза планируемого повышенного облучения кистей и стоп	2000

3.6. При контроле эквивалентной дозы внешнего облучения кожи и хрусталика глаза за значение нормируемой величины следует принимать среднее значение дозы в чувствительной области органа или ткани. Параметры соответствующих чувствительных областей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры для оценки значений нормируемой эквивалентной дозы облучения кожи и хрусталика глаза

Контролируемая величина	**Параметры чувствительной области облучаемого органа или ткани**
Эквивалентная доза облучения хрусталика глаза	Тонкий слой, расположенный на глубине 300 мг/см^2 под поверхностью органа.
Эквивалентная доза облучения кожи	При облучении кожи всего тела за исключением кожи ладоней – плоский слой с площадью сечения 1 см^2 и толщиной 5 мг/см^2, расположенный под покровным слоем толщиной 5 мг/см^2. При облучении кожи ладоней – плоский слой с площадью сечения 1 см^2 и толщиной 5 мг/см^2, расположенный под покровным слоем толщиной 40 мг/см^2

3.7. В условиях планируемого облучения для организации контроля облучения персонала группы А устанавливаются уровни введения индивидуального дозиметрического контроля ($У_{ВК}$) в виде оценки прогнозируемой годовой индивидуальной дозы на контролируемых рабочих местах.

Уровни введения ИДК внешнего облучения кожи и хрусталика глаза персонала группы А приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Уровни *Увк*

Нормируемая величина	***Увк*, мЗв**
Годовая эквивалентная доза облучения хрусталика глаза	20
Годовая эквивалентная доза облучения кожи, кистей и стоп	20

Для введения ИДК облучения кожи, кистей и стоп и хрусталика глаза необходимо оценить значения годовой дозы облучения кожи, кистей и стоп и хрусталика глаза и сравнить их значения со значениями *Увк*.

Если по имеющимся данным значение годовой дозы облучения работника на всех его рабочих местах не превышает или по прогнозу не может превысить $У_{ВК}$, то по согласованию с территориальными органами исполнительной власти, уполномоченными осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор, ИДК может осуществляться по результатам измерения амбиентного и направленного эквивалентов дозы при дозиметрическом контроле рабочих мест в соответствии с разделом 5 данных МУ. Оценка дозы может быть выполнена путем расчета на основании измеренных характеристик полей

излучения и времени пребывания работника на рабочем месте (на рабочих местах).

3.8. Оценка дозы облучения кожи и хрусталика глаза при воздействии внешних источников излучения выполняется на основе результатов ИДК с помощью индивидуальных дозиметров. В случаях, когда такой контроль невозможен или нецелесообразен, оценка дозы выполняется по результатам радиационного контроля рабочих мест в соответствии с разделом 5 данных МУ.

3.9. Измеряемой величиной в дозиметрии внешнего облучения кожи и хрусталика глаза является поглощенная доза излучения. Мощность поглощенной дозы является производной величиной от поглощенной дозы излучения и вычисляется делением измеренного значения дозы на время измерения. Мощность поглощенной дозы используется как характеристика радиационной обстановки для непрерывных полей излучения.

3.10. Операционной величиной для ИДК внешнего облучения является индивидуальный эквивалент дозы, $H_P(d)$. Единица индивидуального эквивалента дозы – зиверт (Зв). Параметр d, *мм*, определяет требования к индивидуальному дозиметру внешнего облучения, а также положение дозиметра на теле работника.

В зависимости от того, для определения какой нормируемой величины используется индивидуальный эквивалент дозы $H_P(d)$ в соответствии с рекомендациями МКРЗ, МКРЕ и МАГАТЭ, устанавливается значение параметра d, *мм*. Соответствие между нормируемыми и операционными величинами, используемыми в ИДК, представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при ИДК

Нормируемая величина	**Операционная величина: индивидуальный эквивалент дозы**		
	Положение индивидуального дозиметра	**d[1], *мм***	**Условное обозначение**
Эквивалентная доза внешнего облучения кожи	Непосредственно на поверхности наиболее облучаемого участка кожи	0,07	$H_P(0,07)$
Эквивалентная доза внешнего облучения хрусталика глаза	На лицевой части головы[2]	3	$H_P(3)$

Примечания
d^1 – глубина биологической ткани.
2 - допускается размещение дозиметра на передней поверхности головного убора, на верхней пуговице или воротнике спецодежды при стандартных условиях облучения.

3.11. Операционными величинами для дозиметрического контроля рабочих мест являются амбиентный и направленный эквиваленты дозы, H*(d) и H'(d,Ω), которые применяются соответственно для контроля сильно проникающих и слабо проникающих излучений. Единица эквивалентов дозы зиверт (Зв). Значение параметра d, *мм*, определяющего требования к приборам дозиметрического контроля, зависит от того, для оценки какой нормируемой величины используются эквиваленты дозы H*(d) и H'(d,Ω) в соответствии с рекомендациями МКРЗ, МКРЕ и МАГАТЭ. Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при дозиметрическом контроле рабочих мест представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при дозиметрическом контроле рабочих мест

Нормируемая величина	**Операционная величина: амбиентный и направленный эквиваленты дозы**	
	d, *мм*	**Условное обозначение**
Эквивалентная доза внешнего облучения кожи	0,07	H'(0,07,Ω)
Эквивалентная доза внешнего облучения хрусталика глаза	3	H'(3,Ω)

4. Определение эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза с помощью ИДК

4.1. ИДК облучения кожи и хрусталика глаза заключается в измерении индивидуальных эквивалентов дозы $H_p(3)$ и $H_p(0,07)$. Наибольший вклад в дозу $H_p(3)$ дают низкоэнергетичное фотонное излучение (энергия фотонов меньше 15 кэВ) и бета-излучение (энергия частиц более 700 кэВ), а в дозу $H_p(0,07)$ – низкоэнергетичное фотонное излучение (энергия фотонов меньше 15 кэВ) и бета-излучение (энергия частиц более 150 кэВ).

4.2. При ИДК каждому работнику выдается дозиметр накопительного типа (например, термолюминесцентные дозиметры). Там, где значения мощности эквивалента дозы на рабочем месте могут существенно различаться (например, более чем в десять раз), для целей оперативного контроля дозы следует применять дополнительный электронный

прямопоказывающий дозиметр (далее ЭПД) с сигнальными функциями. Такие дозиметры могут давать оперативную информацию при быстром изменении параметров поля излучения и обеспечивают подачу звуковых и световых сигналов при превышении установленных уровней дозы или мощности дозы. Однако ЭПД могут давать ошибочные показания в ситуациях, когда в полях встречается импульсное излучение с высокой мощностью дозы излучения или при наличии электромагнитных полей в окружающей среде.

4.3. Для текущего контроля для учета дозы облучения персонала применяются дозиметры накопительного типа. ЭПД следует использовать только для оперативного контроля с целью контроля дозы облучения.

4.4. Оперативный ИДК относится к одной смене (суткам). Для оперативного ИДК кроме ЭПД также возможно применение дозиметров с ионизационными камерами непосредственного считывания с периодом контроля одна смена (одни сутки).

4.5. Выбор индивидуального дозиметра зависит не только от вида излучения, но и от информации, необходимой в дополнение к $H_p(d)$. На практике могут использоваться следующие типы дозиметров:

- дозиметры бета-фотонного излучения, дающие информацию об индивидуальном эквиваленте дозы $H_p(0,07)$ и располагаемые на наиболее облучаемых участках кожи;
- дозиметры бета-фотонного излучения, дающие информацию об индивидуальном эквиваленте дозы $H_p(3)$ и располагаемые поблизости от глаз.

Дозиметры фотонного и нейтронного излучения $H_p(10)$ размещаются на груди персонала под защитной одеждой, если она предусмотрена набором проводимых работ.

4.6. В тех случаях, когда ожидается, что максимальная доза на конечности может более чем в десять раз превышать дозу на поверхности всего тела, следует носить один или несколько дозиметров, расположенных на конечностях таким образом, чтобы они измеряли дозу в тех местах, где ожидается наибольшее облучение.

Частоту смены дозиметров следует устанавливать в зависимости от вида выполняемой работы, ожидаемого облучения, связанного с работой, характеристик дозиметров и дозовых пределов измерения дозиметров. Минимальная частота смены дозиметров - один раз в три месяца.

Дозиметр $H_p(3)$ измеряет дозу в хрусталике глаза. Показания дозиметра $H_p(10)$, носимого на груди сверху защитной одежды, в стандартных условиях облучения также могут быть использованы для оценки дозы в хрусталике глаза.

Дозиметр $H_p(0,07)$, носимый на пальцах рук, служит для определения дозы в коже пальцев рук. Для дозиметрии конечностей, особенно кистей рук, может быть достаточно дозиметра с одним термолюминесцентным

детектором, если он располагается на наиболее облучаемом пальце со стороны источника. В стандартных условиях облучения допускается размещение дозиметра на запястьях кистей рук.

Если применяются средства индивидуальной защиты (СИЗ) от внешнего облучения бета- или мягким фотонным излучением, то дозиметры $H_p(3)$ и $H_p(0,07)$ следует располагать с внутренней (по отношению к телу человека) стороны СИЗ.

4.7. За значение эквивалентной дозы внешнего облучения кожи и хрусталика следует принимать значения соответствующих операционных величин ИДК:

$H_{кожа} = H_p(0,07)$;

$H_{стопы\ и\ кисти} = H_p(0,07)$;

$H_{хрусталик} = H_p(3)$.

5. Определение дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза посредством дозиметрического контроля рабочих мест

5.1. Оценка значений прогнозируемой эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза при воздействии непрерывных полей ионизирующего излучения посредством контроля рабочих мест проводится измерением мощностей направленных эквивалентов дозы $H'(0,07,\Omega)$, $H'(3,\Omega)$. В соответствии с рекомендациями МКРЗ в практике радиационной защиты направление Ω не устанавливается, потому что интерес представляют $H'(3)$, $H'(0,07)$ – максимальные значения $H'(3,\Omega)$, $H'(0,07,\Omega)$. Максимальные значения $H'(3,\Omega)$, $H'(0,07,\Omega)$ регистрируются вращениями детектора дозиметра направленной дозы во время проведения измерения и регистрацией максимальных показаний дозиметра.

5.2. Оценка значений прогнозируемых годовых эквивалентных доз в коже и хрусталике глаза при воздействии непрерывных ионизирующих излучений получается умножением значений мощностей направленных эквивалентов дозы $H'(3)$, $H'(0,07)$ в единицах мкЗв/ч на рабочее время в часах в течение года.

5.3. При оценке значений прогнозируемых эквивалентных доз фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза при воздействии импульсных ионизирующих излучений посредством контроля рабочих мест проводятся измерения направленных эквивалентов дозы $H'(3)$, $H'(0,07)$. Измеренные значения эквивалентов дозы необходимо нормировать к значению параметра работы источника при выработке этих доз. Для оценки эквивалентной дозы персонала, пребывающего на контролируемом рабочем месте в полях импульсных излучений за год, нужно отнормированные значения эквивалентов дозы умножить на значение параметра работы источника за год в соответствии с методикой выполнения измерений. Проблемы дозиметрии импульсных полей излучения рассмотрены в Приложении 2 данных МУ.

5.4. При воздействии непрерывных ионизирующих излучений оценку значений прогнозируемой годовой эквивалентной дозы в коже и хрусталике глаза при наличии данных об энергетическом распределении плотности потока фотонов и электронов можно провести в соответствии с МУ 2.6.5.028-2016 «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования».

6. Требования к метрологическому, методическому и аппаратурному обеспечению дозиметрии облучения кожи и хрусталика

6.1. Дозиметрические измерения относятся к сфере государственного регулирования. Нормативные документы Государственной системы обеспечения единства измерений определяют следующие общие требования к обеспечению контроля дозы облучения персонала:

- для контроля дозы облучения персонала должны применяться средства измерений утвержденного типа, прошедшие испытания и внесенные в федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, проходящие периодическую поверку в установленном порядке;
- методики радиационного контроля должны удовлетворять требованиям ГОСТ 8.638-2013 и МИ 2453-2015 и быть аттестованными в установленном порядке;
- службы организаций, осуществляющие радиационный контроль, должны быть аккредитованы на техническую компетентность в установленном порядке.

Технические и метрологические требования к средствам измерения операционных величин представлены в Приложении 1.

6.2. Диапазон измеряемых доз оперативного ИДК представлен в таблице 6 из стандарта МЭК 61526. Приборы оперативного ИДК предназначены для измерения операционных величин – индивидуальных эквивалентов дозы, а мощности дозы рассматриваются как влияющие величины. Верхняя граница диапазона измерения эквивалентов дозы покрывает аварийные значения, а нижние границы рассчитаны на то, чтобы при сменной работе длительностью в одни сутки в течение года набралась доза, меньшая или равная значению дозового предела. Диапазоны энергии излучения взяты в соответствии с определениями измеряемых величин, они также имеют варианты расширения с сохранением возможностей испытаний.

Таблица 6 – Диапазон измеряемых доз при оперативном ИДК (извлечение из стандарта МЭК 61526)

Категория	Обозначение	Минимальный требуемый диапазон измерения	Варианты расширений		
			для влияющей величины энергии	для диапазона дозы	для влияющей величины мощности дозы
$H_p(0,07)$ рентгеновское, гамма-излучение	**S** (кожа)	от 20 кэВ до 150 кэВ [а)] от 1 мЗв до 10 Зв [б)] от 5 мкЗв/ч до 1 Зв/ч [в)]	**l** : нижний предел 15 кэВ **n** : нижний предел 10 кэВ	**g:** нижний предел 100 мкЗв	**a** (аварийный): верхний предел 10 Зв $ч^{-1}$
$H_p(0,07)$ бета-излучение	**B**	от 200 кэВ до 800 кэВ ($E_{ср.}$) [а)] от 1 мЗв до 10 Зв [б)]	**l**: нижний предел 60 кэВ (*E*ср.)	**g:** нижний предел 100 мкЗв	**A**(аварийный): верхний предел 10 Зв $ч^{-1}$

[а)] Минимальный диапазон энергии
[б)] Минимальный действительный диапазон измерений
[в)] Минимальный диапазон влияющей величины мощности дозы

6.3. Диапазон измеряемых доз текущего ИДК представлен в таблице 7 из стандарта МЭК 62387. Приборы текущего ИДК предназначены для измерения операционных величин – индивидуальных эквивалентов дозы. Верхняя граница диапазона измерения эквивалентов дозы расширена до аварийных значений, а нижние границы рассчитаны на то, чтобы при ежемесячном считывании дозы в течение года набралась доза, существенно меньшая (в десятки раз) значения дозового предела. Диапазоны энергии излучений взяты в соответствии с определениями измеряемых величин, они также имеют варианты расширения с сохранением возможностей испытаний в этих диапазонах.

Таблица 7. Диапазон измеряемых доз при текущем ИДК (извлечение из стандарта МЭК 62387)

Основная категория	**Символ**	**Минимально требуемый диапазон использования***	**Дополнительные расширения**		
			для диапазона энергии	**для нижней границы диапазона измерения**	**для верхней границы диапазона измерения**
$H_p(0,07)$ фотоны	S (кожа)	30 кэВ – 250 кэВ 1 мЗв – 10 Зв[б]	l (low): нижняя 20 кэВ n: нижняя 15 кэВ	g: нижняя гр-ца 0,1 мЗв	a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв
$H_p(0,07)$ бета	B (бета)	200 кэВ – 800 кэВ (Ecp)[a] 1 мЗв – 10 Зв[б]	l (low): нижняя 60 кэВ (Ecp)[a]	g: нижняя гр-ца 0,1 мЗв	a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв

а – минимальный диапазон энергии

б – минимальный действительный диапазон измерений

Пример 1: индивидуальный фотонный дозиметр для атомной станции может быть классифицирован как Gmh

Пример 2: фотонный дозиметр для размещения вблизи атомной станции может быть классифицирован как Emhf

Пример 3: индивидуальный дозиметр фотонного и бета-излучения для медицинского использования может быть классифицирован как Sng-Blg

**Примечание В РФ значение нижней границы диапазона измерения дозы $H_p(0,07)$ равно 2,0 мЗв.*

6.4. ИДК внешнего облучения заключается в определении эквивалентной дозы на основании результатов индивидуальных систематических измерений операционных величин с помощью индивидуальных дозиметров внешнего облучения.

6.5. Нормы безопасности МАГАТЭ «Радиационная защита при профессиональном облучении» DS453 устанавливают, что при величинах доз, близких к пределам годовой дозы, годовые дозы для отдельного лица – $H_p(10)$, $H_p(3)$ и $H_p(0,07)$, показанные несколькими основными дозиметрами, регулярно выдаваемыми в течение года и носимыми на поверхности тела, не будут отличаться более чем на (-33 %) или (+50 %) (при доверительном уровне в 95 %) от эквивалентов дозы, которые были бы получены с помощью идеального дозиметра при его ношении на том же месте в те же периоды времени.

6.6. Дозиметрический контроль рабочих мест с целью прогнозирования эквивалентной дозы внешнего облучения кожи и хрусталика глаза проводится с помощью переносных приборов с неопределенностями результатов измерения переносных приборов.

Приложение 1. Требования к дозиметрам для контроля облучения кожи и хрусталика

Технические и метрологические требования к средствам контроля ядерной и радиационной безопасности разработаны в стандартах подкомитета 45В «Приборы радиационной защиты» Технического комитета 45 «Ядерное приборостроение» Международной электротехнической комиссии (МЭК).

Технические и метрологические требования к дозиметрам (мощности) амбиентного и направленных эквивалентов дозы H*(10), H'(3,Ω), H'(0,07,Ω), индивидуальных эквивалентов дозы $H_p(10)$, $H_p(3)$, $H_p(0,07)$ изложены в стандартах МЭК:

1. МЭК 60846-1, 2009-04, Приборы радиационной защиты – Измерители (мощности) амбиентного и/или направленного эквивалента дозы бета-, рентгеновского и гамма-излучения;
2. МЭК 61526, ред. 3, 2010-07, Приборы радиационной защиты – Измерение эквивалентов индивидуальной дозы $H_p(10)$ и $H_p(0,07)$ для рентгеновского, гамма-, нейтронного и бета-излучения – Индивидуальные дозиметры с непосредственной индикацией показаний эквивалента дозы;
3. МЭК 61066, 2006-06, ред. 2, Приборы радиационной защиты – Термолюминесцентные дозиметрические системы для индивидуальной дозиметрии и дозиметрии окружающей среды;
4. МЭК 62387, ред. 1, 2012-04, Приборы радиационной защиты – Пассивные интегрирующие дозиметрические системы от фотонного и бета-излучения для индивидуальной дозиметрии и дозиметрии окружающей среды.

П.1.1. Общие положения стандартов

Для дозиметрического контроля рабочих мест применяются дозиметры (мощности) амбиентного и/или направленного эквивалента дозы бета-, рентгеновского, гамма- и нейтронного излучения.

Для ИДК применяются пассивные дозиметрические системы бета-, рентгеновского, гамма- и нейтронного излучений с термолюминесцентными дозиметрами (текущий и аварийный контроль), дозиметры фотонного излучения непосредственного считывания на основе ионизационных камер, так называемые дозиметры-карандаши (оперативный контроль) и электронные прямопоказывающие индивидуальные дозиметры бета-, рентгеновского, гамма- и нейтронного излучения (оперативный и аварийный контроль).

Требования международных стандартов к средствам контроля ядерной и радиационной безопасности основываются на следующих общих положениях:

действительный диапазон измерения – это диапазон значений измеряемой величины, в котором рабочие характеристики измерителя удовлетворяют требованиям соответствующего стандарта;

неопределенности результатов измерения имеют следующие источники:

- собственная погрешность измерителей;
- неопределенности, обусловленные зависимостями чувствительности прибора от энергии и угла падения излучения на детектор измерителя;
-дополнительные неопределенности, обусловленные отличиями внешних условий измерения от установленных нормальных: температуры окружающей среды, давления, внешнего электромагнитного поля и др.;

собственная погрешность средств измерений определяется в стандартных условиях калибровки и обусловлена:

- нелинейностью чувствительности;

- статистическими флуктуациями;
время отклика приборов время показания от 90 % до 110 % нового значения мощности дозы при резком изменении мощности дозы;
отклик – отношение индицируемой дозиметром величины к условно истинной величине;
относительная погрешность показаний – отношение погрешности индикации измеряемой величины к условно истинной величине, выражаемое в процентах;
относительная собственная погрешность – относительная погрешность показаний дозиметра от образцового излучения в стандартных условиях.

В стандартах МЭК приведены требования к нелинейности чувствительности, к статистическим флуктуациям показаний и к времени отклика дозиметров. Требование к времени отклика является требованием как к чувствительности детекторов прибора, так и к алгоритму обработки сигналов в дозиметрах.

Требование к линейности чувствительности ограничивает верхнюю границу, а требования к статистическим флуктуациям и к времени отклика ограничивают нижнюю границу диапазона измерений дозиметра.
Общие термины и определения стандартов МЭК
коэффициент вариации (для оценки статистической флуктуации) - отношение оценки стандартного отклонения s к среднему арифметическому значению E совокупности n измерений. Коэффициент вариации определяется по формуле:

$$v = \frac{s}{\overline{E}} = \frac{1}{\overline{E}}\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}\left(E_j - \overline{E}\right)^2}$$

эталонные излучения:
фотонное излучение для H*(10): излучение источника ^{137}Cs (или ^{60}Co);
фотонное излучение для H' (0,07): поле N-80* (или ^{241}Am) (ИСО 4037);
бета-излучение для H'(d,Ω): излучение нуклида $^{90}Sr/^{90}Y$ (ИСО 6980-1; ИСО 6980-3);
нейтронное излучение: $^{241}Am/Be$, ^{252}Cf, $^{252}Cf(D_2O)$, или $D(d,n)^3He$, $T(d,n)^4He$, $T(p,n)$ и $^7Li(p,n)$ нейтронные генераторы
**Примечание. Поле N-80 – поле рентгеновского излучения со средней энергией 83 кэВ, создаваемое при напряжении на трубке 100 кВ и дополнительной фильтрации от 5 мм меди.*

П.1.2. *МЭК 60846-1, 2009-04, Приборы радиационной защиты – Измерители и/или мониторы (мощности) амбиентного и/или направленного эквивалента дозы бета-, рентгеновского и гамма-излучения - Часть 1: Портативные приборы для контроля рабочих мест и окружающей среды*
Общие характеристики измерителей (мощности) амбиентного и направленного эквивалента дозы
Диапазон мощности эквивалента дозы Для выполнения рекомендаций МКРЕ требуется определить мощность эквивалента дозы по широкому диапазону значений. В некоторых случаях требуется измерить такую высокую мощность эквивалента дозы, как 10 Зв/ч. В других предельных случаях можно получить такие низкие мощности эквивалента дозы, как 0,1 мкЗв/ч. В большинстве случаев интересующие мощности эквивалента дозы находятся в пределах диапазона приблизительно от 1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч.
Минимальный действительный диапазон измерений мощности эквивалента дозы должен охватывать, как минимум, три порядка величины и включать в себя 10 мкЗв/ч для измеряемой величины H*(10) и 0,1 мЗв/ч для измеряемой величины H'(0,07).
Изменение чувствительности, обусловленное энергией и углом падения излучения:
требования для дозы (мощности) H' (0,07): Относительная чувствительность,

обусловленная энергией от 10 кэВ до 250 кэВ и углом падения фотонного излучения от 0° до 45°, должна находиться в интервале от 0,71 до 1,67. Для углов падения излучения до ± 90° изготовитель должен указывать относительную чувствительность для всех энергий излучения;

требования для дозы (мощности) H(10):* Относительная чувствительность, обусловленная энергией от 20 кэВ до 150 кэВ или от 80 кэВ до 1,5 МэВ и углом падения фотонного излучения от 0° до 45°, должна находиться в интервале от 0,71 до 1,67. Для углов падения излучения до ± 90° изготовитель должен указывать относительную чувствительность для всех энергий излучения.

Изменение относительной чувствительности к (мощности) дозе, обусловленное нелинейностью в стандартных условиях испытаний, не должно превышать диапазон от минус 15 % до плюс 22 % по всему действительному диапазону измерений для выбранного эталонного рентгеновского, гамма-излучения или бета-излучения.

Коэффициент вариации по (мощности) дозы H должен быть в пределах:

для $H=H_o$: 15 %; для $H_o<H<11H_o$: $(16-H/H_o)$ %; для $H>11H_o$: 5 %, где H_o – нижняя граница диапазона измерения (мощности) дозы.

Время отклика: При воздействии на дозиметр мощности эквивалента дозы ступенчатого или медленного приращения или понижения менее чем через 10 с после воздействия конечной мощности эквивалента дозы показание измерителя должно достичь: Gi+0,9(Gf-Gi), где Gi – начальное показание и Gf – конечное показание. Период времени 10 с применяется для значений Gf, составляющих более 1 мкЗв/ч, но менее чем 10 мЗв/ч. Для Gf больше этого значения время должно составлять 2 с или менее. Кроме того, через 60 с показание должно достигать (1±0,1)Gf для всех значений Gf.

Отклик к импульсным полям ионизирующего излучения: Испытания на чувствительность дозиметра (мощности) эквивалента дозы к полям импульсного излучения не являются обязательными.

В стандарте предъявляются требования к электрическим, механическим характеристикам дозиметров, характеристикам окружающей среды, перечню документации.

Категории дозиметров, приведенные в таблице, могут быть использованы для классификации дозиметров (мощности) для целей официального утверждения.

Основная категория	**Символ**	**Минимально требуемый диапазон использования**	**Дополнительные расширения**			
			для диапазона энергии	**для диапазона углов**	**для диапазона мощности дозы**	**для диапазона дозы**
H*(10) гамма	G	энергия: 80 кэВ – 1,5 МэВ угол: -45° - +45° мощность дозы: 3 порядка величины, включая 10 мкЗв/ч доза (если это предусмотрено): 3 порядка величины, включая 0,1 мЗв	m (mid): нижняя гр-ца 60 кэВ l (low): нижняя гр-ца 20 кэВ h (high): вкл. 6 МэВ	w (wide): -90° - +90°	a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв/ч	a (аварийный): верхняя гр-ца 2 Зв f: нижняя гр-ца 10 мкЗв
H*(10) рент.	X	энергия: 20 кэВ – 150 кэВ угол: -45° - +45° мощность дозы: 3 порядка величины, включая 10 мкЗв/ч доза (если это	l (low): нижняя гр-ца 10 кэВ h (high): вкл. 300 кэВ	w (wide): -90° - +90°	a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв/ч	a (аварийный): верхняя гр-ца 2 Зв f: нижняя гр-ца 10 мкЗв

		предусмотрено): 3 порядка величины, включая 0,1 мЗв				
H'(0,07) рент., гамма	S (кожа)	энергия: 20 кэВ – 150 кэВ мощность дозы: 3 порядка величины, включая 10 мкЗв/ч доза (если это предусмотрено): 3 порядка величины, включая 0,1 мЗв	h (high): вкл. 300 кэВ u: (ultra): вкл. 1,3 МэВ		a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв/ч	a (аварийный): верхняя гр-ца 2 Зв f: нижняя гр-ца 10 мкЗв
H'(0,07) бета	B	средняя энергия (Ecp): 200 кэВ – 800 кэВ мощность дозы: 3 порядка величины, включая 0,1 мЗв/ч доза (если это предусмотрено): 3 порядка величины, включая 0,1 мЗв	1 (low): нижняя гр-ца 60 кэВ (Ecp)		a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв/ч	a (аварийный): верхняя гр-ца 2 Зв f: нижняя гр-ца 10 мкЗв
Например, гамма дозиметр для атомной станции для измерений в аварийных условиях может быть классифицирован как Gha....						

П.1.3. ***МЭК 61526, ред. 3, 2010-07, Приборы радиационной защиты - Измерение эквивалентов индивидуальной дозы $H_p(10)$ и $H_p(0,07)$ для X-, гамма-, нейтронного и бета-излучения - Индивидуальные дозиметры с непосредственной индикацией показаний эквивалента дозы***

Механические характеристики: размеры дозиметров не должны превышать 15х3х8см, объем 300 $см^3$, а их масса (гамма-нейтронные) не должна превышать 200 г.

Действительный диапазон измерений дозиметров должен охватывать, как минимум, диапазон от 100 мкЗв до 1 Зв для величины измерения $H_p(10)$ и от 1 мЗв до 10 Зв для величины измерения $H_p(0,07)$, а измеряемые мощности дозы должны находиться в диапазоне от 1 мкЗв $ч^{-1}$ до 1 Зв $ч^{-1}$.

Испытания: расширенная (k=2) относительная неопределенность условно истинного значения эквивалента дозы или мощности дозы должна быть менее 10 % .

Минимальные диапазоны измерения:

для $H_p(0,07)$ гамма-, рентгеновского и бета-излучения:

для дозы: от 1 мЗв до 10 Зв и

для мощности дозы: от 5 мкЗв/ч до 1 Зв/ч

для $H_p(10)$ гамма-излучения:

для дозы: 100 мкЗв до 1 Зв и

для мощности дозы: от 0,5 мкЗв/ч до 1 Зв/ч

для $H_p(10)$ нейтронного излучения:

для дозы: от 100 мкЗв до 1 Зв и

для мощности дозы: от 5 мкЗв/ч до 1 Зв/ч

Изменение относительной чувствительности, обусловленное нелинейностью, должно лежать в диапазоне от минус 17 % до +25 % по всему действительному диапазону измерений для выбранного эталонного рентгеновского, гамма-излучения или бета-излучения в стандартных условиях испытаний

Коэффициент вариации по эквивалентам дозы $H_p(0,07)$, Hp(10) должен быть в пределах:

для $H_o<H<11H_o$: (16-H/H_o) %; для $H>11H_o$: 5 %, где H_o – нижняя граница диапазона измерения доз.

Изменения относительной чувствительности измерения $H_p(10)$, $H_p(0,07)$ и их мощностей, обусловленные энергией и углом падения фотонного, нейтронного и бета-излучения, должны находиться в интервале от 0,71 до 1,67 для разных энергии и углов падения излучения от 0° до 60°.

Время отклика показания эквивалента дозы и аварийной сигнализации: При резком повышении мощности эквивалента дозы индикатор дозиметра должен показывать значение конечной мощности эквивалента дозы с погрешностью менее чем (минус 17 – плюс 25) % в течение 10 с после ее воздействия на дозиметр. В случае ступенчатого повышения аварийная сигнализация, при установке на значение, составляющее половину от верхнего значения мощности эквивалента дозы, должна срабатывать в течение 2 с. В качестве альтернативы, любая задержка срабатывания не должна приводить к получению дозы свыше 10 мкЗв для мощности $H_p(10)$ рентгеновского и гамма-излучения, свыше 100 мкЗв для мощности $H_p(0,07)$ рентгеновского, гамма- и бета- излучения и свыше 500 мкЗв для мощности $H_p(10)$ нейтронного излучения.

В стандарте приведены требования к электрическим, электромагнитным, механическим характеристикам и характеристикам окружающей среды, перечню документации к приборам. Приложения стандарта посвящены статистическим флуктуациям, процедуре определения изменения относительной чувствительности, обусловленной энергией излучения и углом падения излучения. В Приложениях также приведены категории индивидуальных дозиметров, рекомендующие их характеристики в зависимости от целей их использования.

Категории индивидуальных дозиметров, приведенные в таблице, могут быть использованы для классификации индивидуальных дозиметров в целях утверждения типа.

Категория	**Обозначение**	**Минимальный диапазон**	**Варианты расширений**		
			для влияющей величины энергии	**для диапазона дозы**	**для влияющей величины мощности дозы**
$H_p(10)$ гамма-излучение	**G**	от 80 кэВ до 1,5 МэВ [а] от 100 мкЗв до 10 Зв [б] от 0,5 мкЗв/ч до 1 Зв/ч [в]	**m** (ср.): нижний предел 60 кэВ **l** (низк.): нижний предел 20 кэВ **h** (выс.): вкл. 6 МэВ	**f**: нижний предел10 мкЗв	**a** (аварийный): верхний предел 10 Зв $ч^{-1}$
$H_p(10)$ рентгеновское излучение	**X**	от 20 кэВ до 150 кэВ [а] от 100 мкЗв до 10 Зв [б] от 0,5 мкЗв/ч до 1 Зв/ч [в]	**l** (низк): нижний предел 10 кэВ **h** (выс): вкл. 300 кэВ	**f**: нижний предел10 мкЗв	**a** (аварийный): верхний предел 10 Зв $ч^{-1}$
$H_p(10)$ нейтронное излучение	**N**	от 0,025 эВ до 5 МэВ [а] от 100 мкЗв до 1 Зв [б] от 5 мкЗв/ч до 1 Зв/ч [в]	—	**f**: нижний предел10 мкЗв	**a** (аварийный): верхний предел 10 Зв $ч^{-1}$
$H_p(0,07)$ рентгеновское, гамма-излучение	**S** (кожа)	от 20 кэВ до 150 кэВ [а] от 1 мЗв до 10 Зв [б] от 5 мкЗв/ч до 1 Зв/ч [в]	**l** : нижний предел 15 кэВ **n** : нижний предел 10 кэВ	**g:** нижний предел 100 мкЗв	**a** (аварийный): верхний предел 10 Зв $ч^{-1}$
$H_p(0,07)$ бета-излучение	**B**	от 200 кэВ до 800 кэВ ($E_{ср.}$) [а] от 1 мЗв до 10 Зв [б]	**l**: нижний предел 60 кэВ (Eср.)	**g:** нижний предел 100 мкЗв	**a** (аварийный): верхний предел 10 Зв $ч^{-1}$

[а] Минимальный диапазон энергии
[б] Минимальный действительный диапазон измерений
[в] Минимальный диапазон использования (мощность дозы)

П.1.4. ***МЭК 61066, 2006-06, ред. 2, Приборы радиационной защиты – Термолюминесцентные дозиметрические системы для индивидуального мониторинга и для мониторинга окружающей среды***

Эталонная доза для $H_p(10)$ и $H^*(10)$: от 1 мЗв до 10 мЗв; для $H_p(0,07)$: от 3 мЗв до 30 мЗв.

Эталонное фотонное излучение для $H_p(10)$ и $H^*(10)$: ^{137}Cs; для $H_p(0,07)$: N-80*

Эталонное бета излучение для $H_p(0,07)$: $^{90}Sr/^{90}Y$

**Примечание. Поле N-80 – поле рентгеновского излучения со средней энергией 83 кэВ, создаваемое при напряжении на трубке 100 кВ и дополнительной фильтрации от 5 мм меди.*

Радиационный фон в стандартных условиях: $H^*(10)$ не более 0,25 мкЗв/ч;

Неопределенность условно истинного значения: Относительная расширенная неопределенность условно истинного значения эквивалента дозы должна быть меньше 7 %.

Учет естественного фона при испытаниях: Для измерений малых доз фотонного и бета-излучения необходимо принимать во внимание естественный фон. Для этого взять значимое количество дозиметров (минимум 10) как фоновые, которые рассматриваются также как испытываемые дозиметры, но не облучаются. Среднее значение показаний этих дозиметров должно вычитаться из показаний испытываемых.

Нелинейность чувствительности: Изменение относительной чувствительности из-за нелинейности должно быть в пределах:

от −9 % до +11 % для дозы $H_p(10)$, $H_p(0,07)$, $H^*(10)$ в диапазоне 0,1 мЗв $\leq H \leq$ 1 Зв;

±5 % для дозы $H^*(10)$ в диапазоне 0,5 мЗв $\leq H \leq$ 20 мЗв.

Статистические флуктуации: коэффициент вариации должен удовлетворять требованиям

$H_p(10)$:

для $H < 0,1$ мЗв: 15 %; для 0,1 мЗв $\leq H <$ 1,1 мЗв: (16-H/0,1 мЗв)%; для $H \geq$ 1,1 мЗв: 5 %.

Hp(0,07):

для $H <$ 1 мЗв: 15 %; для 1 мЗв $\leq H <$ 11 мЗв: (16-H/1 мЗв)%; для $H \geq$ 11 мЗв: 5 %.

$H^*(10)$:

для $H <$ 0,5 мЗв: 5 %; для 0,5 мЗв $\leq H <$ 20 мЗв: 3%; для $H \geq$ 20 мЗв: 5 %.

Параметры дозиметрической системы

В зависимости от измеряемого эквивалента дозы диапазоны измерения должны иметь минимальные пределы:

$H_p(10)$, $H^*(10)$	0,1 мЗв $\leq H \leq$ 1 Зв
$H_p(0,07)$*	1 мЗв $\leq H \leq$ 10 Зв

**Примечание В РФ значение нижней границы диапазона измерения дозы $H_p(0,07)$ равно 2,0 мЗв.*

Изменение чувствительности, обусловленное энергией и углом падения излучения

Относительная чувствительность измерения $H_p(10)$ обусловленная энергией и углом падения фотонного излучения, должна находиться в интервале от минус 29 % до +67 % для энергии 80 кэВ – 1,25 МэВ и для углов от 0° до ±60° от эталонного направления;

Относительная чувствительность измерения $H_p(0,07)$, обусловленная энергией и углом падения фотонного и бета-излучения, должна находиться в интервале от минус 29 % до +67 % для фотонного излучения с энергией от 30 кэВ до 250 кэВ и для бета-излучения со средней энергией от 0,24 МэВ до 0,8 МэВ для углов от 0° до ±60° от эталонного направления.

Относительная чувствительность измерения $H^*(10)$, обусловленная энергией и углом падения фотонного излучения для энергии 80 кэВ – 1,25 МэВ, должна находиться в интервале:

от минус 29 % до плюс 67 % для углов от 0° до ±75° и от ±180° до ±75° от эталонного направления и
от минус 33 % до плюс 100 %: для углов от 75° до ±105° от эталонного направления.
В стандарте приведены требования к экологическим, электромагнитным и механическим характеристикам дозиметров

П.1.5. ***МЭК 62387, ред. 1, 2012-04 Приборы радиационной защиты – Пассивные интегрирующие дозиметрические системы для мониторинга окружающей среды и индивидуального мониторинга – Часть 1: Общие характеристики и эксплуатационные требования***
Требования стандарта идентичны требованиям стандарта МЭК 61066. Здесь приведено Приложение D стандарта с категориями пассивных дозиметров.
Категории пассивных дозиметров, приведенные в таблице, могут быть использованы для классификации пассивных дозиметров в целях утверждения типа.

Основная категория	**Символ**	**Минимально требуемый диапазон использования**	**Дополнительные расширения**		
			для диапазона энергии	**для нижней границы диапазона измерения**	**для верхней границы диапазона измерения**
Hp(10) фотоны	G (гамма)	80 кэВ – 1,25 МэВ[а] 0,1 мЗв – 1 Зв[б]	m (mid): нижняя 60кэВ l (low): нижняя 20 кэВ h (high): вкл. 7 МэВ	f: нижняя гр-ца 0,01 мЗв	a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв
H*(10) фотоны	E (окр. среда)	80 кэВ – 1,25 МэВ[а] 0,1 мЗв – 1 Зв[б]	m (mid): нижняя 60 кэВ l (low): нижняя 20 кэВ h (high): вкл. 7 МэВ	f: нижняя гр-ца 0,01 мЗв	a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв
Hp(0,07)* фотоны	S (кожа)	30 кэВ – 250 кэВ 1 мЗв – 10 Зв[б]	l (low): нижняя 20 кэВ n: нижняя 15 кэВ	g: нижняя гр-ца 0,1 мЗв	a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв
Hp(0,07) бета	B (бета)	200 кэВ – 800 кэВ (Eср)[а] 1 мЗв – 10 Зв[б]	l (low): нижняя 60 кэВ (Eср)[а]	g: нижняя гр-ца 0,1 мЗв	a (аварийный): верхняя гр-ца 10 Зв

а - минимальный диапазон энергии
б – минимальный действительный диапазон измерений
Пример 1: индивидуальный фотонный дозиметр для атомной станции может быть классифицирован как Gmh
Пример 2: фотонный дозиметр для размещения вблизи атомной станции может быть классифицирован как Emhf
Пример 3: индивидуальный дозиметр фотонного и бета-излучения для медицинского использования может быть классифицирован как Sng-Blg

**Примечание В РФ значение нижней границы диапазона измерения дозы $H_p(0,07)$ равно 2,0 мЗв.*

Приложение 2. Особенности дозиметрии импульсного излучения

П.2.1. Актуальность дозиметрии импульсного излучения электронными дозиметрами порождается двумя факторами:

1. Все поля излучения, создаваемые импульсными реакторами, критическими сборками, рентгеновскими аппаратами и ускорителями, являются полями импульсного излучения.
2. Все более широким использованием электронных дозиметров. Электронные дозиметры, как индивидуальные, так и инспекционные, используемые для дозиметрии рабочих мест, имеют преимущества перед дозиметрами накопительного типа. Преимущества электронных дозиметров заключаются в прямом чтении показаний и наличии аварийных сигнализаций при превышении установленных порогов по дозе и мощности дозы. Электронные дозиметры в то же время имеют существенные недостатки перед дозиметрами накопительного типа при дозиметрии импульсного излучения, т.к. при сравнительно невысоких средних значениях мощности дозы в полях импульсных излучений значения мощности дозы в импульсах могут существенно превышать измерительные возможности электронных дозиметров.

П.2.2. Для установления особенностей дозиметрии импульсных излучений необходимы определения импульсного и непрерывного излучений. Понятно, что если интенсивность излучения неизменна, то излучение непрерывное, а интенсивность импульсного излучения меняется. Характеристикой интенсивности ионизирующих излучений может служить мощность дозы излучения.

В стандарте Международной электротехнической комиссии (МЭК) 62743, Электронные счетные дозиметры для импульсных полей ионизирующего излучения [1], даны определения типов излучений с использованием величины мощности дозы:

импульсное излучение

применительно к дозиметрии рабочих мест и индивидуальной дозиметрии ионизирующее излучение, при котором в данной точке пространства никогда не будет постоянной мощности дозы в течение интервала времени больше чем 10 с;

непрерывное излучение

применительно к дозиметрии рабочих мест и индивидуальной дозиметрии ионизирующее излучение с постоянной мощностью дозы в данной точке пространства в течение интервала времени больше чем 10 с, если пренебречь временами включения и выключения поля.

Примечания в определениях *применительно к дозиметрии рабочих мест и индивидуальной дозиметрии* указаны в связи с тем, что интервал времени 10 с взят из требований стандарта по переносным дозиметрам МЭК 60846-1 [2] и стандарта по индивидуальным дозиметрам МЭК 61526 [3] о том, что дозиметры для оперативной дозиметрии должны обнаруживать изменения мощности дозы в течение 10 сек.

П.2.3. Характеристики импульсных полей

Основными характеристиками импульсных излучений являются следующие параметры:

- доза за отдельный импульс на 1 м;
- мощность дозы за импульс на 1 м;
- диапазон энергии частиц;
- длительность импульса;
- частота импульсов.

Параметры источников импульсных излучений из [4] приведены в таблице П2.1.

Таблица П2.1

Тип генератора	**Доза в импульсе (на 1м от ист-ка)**	**Мощность дозы в импульсе (на 1м от ист-ка)**	**Длитель-ность импульса**	**Частота**	**Средняя энергия**
Рентгеновские аппараты	≤ 1 мЗв	≤40 мЗв/сек	1 мс – 1 с	отдельный импульс – 100 Гц	10 – 100 кэВ
Ускоритель	≤0,1 мЗв	≤ 10 Зв/сек	1 мкс	до 400 Гц	1 – 50 МэВ
Специальные импульсные генераторы	≤3 мЗв	≤100 Зв/сек	50 нс	отдельный импульс	10 кэВ - 10 МэВ

Из данных в таблице видно, что значения мощности дозы в единицах зиверт в час не могут характеризовать радиационную обстановку, созданную источниками импульсного излучения с длительностями от десятков наносекунд. Если мощность дозы обусловлена микросекундными импульсами с частотой следования двести импульсов в секунду, то средние значения мощности дозы и значения мощности дозы в импульсах будут различаться в 5000 раз [5].

В таблице П2.2 приведены минимальные и максимальные значения вышеуказанных характеристик импульсных излучений из стандарта МЭК 62743 [1].

Таблица П2.2

Источник	**Минимальная длительность импульса**	**Максимальная мощность дозы в импульсе**	**Максимальная доза в импульсе**
Рентгеновский аппарат С-дуга	5 мс	10 Зв/ч	1 мЗв
Система неразрушающего контроля, использующая линейный ускоритель (LINAC)	3,5 мкс	500 Зв/ч (на расстоянии 1 м)	0,5 мкЗв (на расстоянии 1 м)
Линейный ускоритель (LINAC)	3 мкс	250 000 Зв/ч (на расстоянии 1 м)	20 мЗв (на расстоянии 1 м)

Операционной величиной в дозиметрии внешнего облучения импульсными излучениями является доза облучения. Мощность дозы является производной величиной от дозы облучения и вычисляется делением измеренного значения дозы на время измерения. Мощность дозы используется как характеристика радиационной обстановки только для непрерывных излучений.

В дозиметрии импульсных излучений измеряемой характеристикой радиационной обстановки является доза облучения. В связи с тем, что вышеприведенные источники работают эпизодически, необходимы параметры работы источников, на которые можно нормировать измеренные значения дозы. Параметр работы источника ионизирующего излучения – это характеристика работы источника, к значению которой прямо пропорционально значение дозы излучения.

Параметром работы трубки генератора для рентгеновских аппаратов служит количество электричества (заряд, протекший через трубку аппарата) при выработке определенной дозы облучения. Отношение операционной величины, дозы на определенном расстоянии от излучателя аппарата, к значению количества электричества является величиной, характеризующей радиационные свойства аппарата, и оно постоянно для данного напряжения на трубке конкретного аппарата. Значение данной величины является коэффициентом полезного действия аппарата и в рентгенотехнике называется «радиационным выходом» [6].

Параметром работы для медицинских терапевтических ускорителей служит отношение значения дозы в интересующей нас точке к значению дозы в первичном пучке ускорителя. В связи со сложностями расчетов специалисты Национального совета по радиационной защите США [7-10] экспериментально определили дозовые альбедо для всех типов ускорителей и для многих углов рассеяния первичного пучка, полученные результаты затем подтвердили для всех возможных углов рассеяния первичного пучка.

Отношение операционной величины, дозы в интересующей нас точке, к значению дозы в первичном пучке ускорителя является величиной, характеризующей радиационные свойства ускорителя, и оно постоянно для данного напряжения на трубке конкретного ускорителя. Оценка нормируемой величины (годовой дозы) проводится по рабочей нагрузке: числу пациентов, проходящих лечение на ускорителе в течение года, умноженного на дозу отпускаемой на каждого пациента, равной 2 Гр.

Параметром работы рентгеновского аппарата для неразрушающего контроля служит число импульсов. Доза от аппарата пропорциональна числу импульсов аппарата. При отсутствии импульсов отсутствует и доза. Отношение операционной величины, дозы в интересующей нас точке, к количеству импульсов аппарата при выработке измеренного значения дозы является величиной, характеризующей радиационные свойства аппарата, и оно постоянно для данного напряжения на трубке конкретного аппарата.

Возможны другие типы источников импульсных излучений, в которых доза излучения пропорциональна к другим параметрам источника. Необходимо установление причинно-следственной связи между операционной величиной, дозой излучения и параметром работы источника, которая позволит построить модель перехода от операционной величины к нормируемой величине для дозиметрии импульсного излучения.

Литература

1. IEC/TS 62743, 2012 Radiation protection instrumentation – Electronic counting dosemeters for pulsed fields of ionizing radiation
2. 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
3. IEC 61526 ed 3, 2010-07, Radiation protection instrumentation – Measurement of personal dose equivalents $H_p(10)$ and $H_p(0,07)$ for X, gamma, neutron and beta radiations – Direct reading personal dose equivalent meters
4. U. Ankerhold, O. Hupe and P. Ambrosi, Deficiencies of active electronic radiation protection dosimeters in pulsed fields, Rad.Prot.Dosimetry (2009), Vol. 135, № 3
5. ICRU Report 34, The Dosimetry of pulsed radiation, 1982
6. ICRU Report 74, Patient Dosimetry for X-rays used in Medical Imaging, Journal of the ICRU Vol 5 № 2 (2005)

7. NCRP Report No 49, Structural shielding design and evaluation for medical use of X-rays and gamma rays of energies up to 10 MeV, 3-d reprinting 1998;
8. NCRP Report No 79, Neutron Contamination from Medical Electron Accelerators, 1995;
9. NCRP Report No 151, Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy, 2005;
10. NCRP Report No 144, Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities, 2005.

Приложение 3. Проведение текущего и оперативного ИДК

3.1. Текущий и оперативный ИДК

ИДК внешнего облучения дозы в коже и хрусталике глаза персонала бывает двух видов:

- текущий ИДК, целью которого является измерение индивидуального эквивалента дозы $H_p(d)$ для учета доз облучения персонала;
- оперативный ИДК, служащий целям контроля дозы облучения.

Для целей контроля профессионального облучения период контроля определяется как промежуток времени: между последовательными считываниями индивидуальных учетных дозиметров; либо между последовательными измерениями характеристик радиационной обстановки на рабочих местах при проведении дозиметрического контроля рабочих мест.

Для текущего ИДК применяются пассивные дозиметры накопительного типа, например термолюминесцентного или радиофотолюминесцентного типа, есть случаи использования для этой цели дозиметров на основе фотопленок. Главной характеристикой дозиметров накопительного типа, допускающей их применение для текущего ИДК, является невозможность внешних влияющих факторов разрушить хранящуюся в них информацию о дозе без разрушения самих дозиметров. Не допускается применение для текущего ИДК электронных прямопоказывающих дозиметров (ЭПД).

Оперативный ИДК относится к одной смене (суткам). Для оперативного ИДК применяются дозиметры на основе ионизационных камер непосредственного считывания (так называемые дозиметры-карандаши) и ЭПД с функцией аварийной сигнализации. Оперативный ИДК служит также для получения информации о радиационной обстановке в целях оптимизации радиационной защиты и проверки адекватности дозиметрического контроля рабочего места.

Для оценки дозы облучения работника часто бывает достаточно измерить величину $H_p(10)$. Однако, если поле излучения содержит значительную долю слабопроникающего излучения, такого как бета-частицы с энергией выше 700 кэВ или фотоны с энергией менее 15 кэВ, то значение величины $H_p(3)$, а если такого как бета-частицы с энергией выше 150 кэВ или фотоны с энергией менее 15 кэВ, то значение величины $H_p(0,07)$ может быть сопоставимым или существенно превышать значения величины $H_p(10)$. Для таких полей излучения следует применять дозиметры, способные измерять эквивалент дозы на глубину 3 мм и 0,07 мм.

Для некоторых помещений, где не требуется ИДК, следует использовать ограниченное число индивидуальных дозиметров, прежде чем разрабатывать программу дозиметрического контроля рабочих мест.

Для более точной оценки эффективной дозы, полученной в условиях нестандартного облучения, работникам надлежит носить дополнительные дозиметры на других частях тела.

В таблице 6.1 НРБ-99/2009 указаны прогнозируемые уровни облучения, при которых необходимо срочное вмешательство, где для кожи указано значение поглощенной дозы 3 Гр за 2 суток. В случае аварийного облучения, при котором прогнозируемый уровень облучения превышает 500 мГр, для определения глубинного дозового распределения необходимо провести моделирование облучения с помощью индивидуальных дозиметров за разными слоями фильтров.

3.2. Дозиметрия кожи ладоней

В Примечании к эквивалентной дозе в коже в Таблице 3.1 «Основные пределы доз» НРБ-99/2009 указано «Относится к среднему по площади в 1 $см^2$ значению в

базальном слое кожи толщиной 5 мг/см^2 под покровным слоем толщиной 5 мг/см^2. На ладонях толщина покровного слоя – 40 мг/см^2. Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см^2 площади кожи этот предел не будет превышен».

В то же время в публикации № 115 Серия изданий по безопасности, МАГАТЭ, 1997 г. к «эквивалентной дозе на конечности (кисти рук и стопы ног) или на кожу (в коже)» дано следующее примечание: «Пределы эквивалентной дозы на кожу используются в отношении средней дозы на 1 см^2 наиболее высоко облученного участка кожи…».

Также и в General Safety Requirements Part 3 No GSR Part 3, 2011, к «эквивалентной дозе на конечности (кисти рук и стопы ног) или в коже» дано аналогичное примечание: «Пределы эквивалентной дозы в коже используются в отношении средней дозы на 1 см^2 наиболее высоко облученного участка кожи…». Таким образом, фраза из НРБ-99/2009 «На ладонях толщина покровного слоя – 40 мг/см^2» имеет чисто информационный характер и не требует мероприятий по ИДК кожи ладоней.

3.3. Уровень нижней границы диапазона измерения средств ИДК

Возможности средств измерения текущего ИДК ограничены и имеют нижний предел измерения – такие значения доз, ниже которого по техническим или метрологическим причинам они не могут измерять. Например, термолюминесцентные дозиметрические системы, которые в основном применяются для текущего ИДК в России, в соответствии со стандартом МЭК 61066, имеют следующие минимальные характеристики:

7 Возможности дозиметрической системы

7.2 Измеряемый диапазон…

В зависимости от измеряемого эквивалента дозы пределы диапазона измерения должны… покрывать минимальные диапазоны…:

$H_p(10)$, $H^*(10)$ 0,1 мЗв $\leq H \leq$ 1 Зв

$H_p(0,07)$ 1 мЗв $\leq H \leq$ 10 Зв.

В случаях, когда индивидуальные дозы меньше нижних границ диапазона измерения средств контроля, в качестве значения индивидуальной дозы необходимо брать значение, соответствующее 50% нижней границе диапазона измерения применяемого средства измерения текущего ИДК, как указано в Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection, Safety Standards Series No. RS-G-1.8.

Приложение 4. Список литературы

1. СанПиН 2.6.1.2523-09 – Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы. – М.: Роспотребнадзор, 2009 г., 100 с.
2. СП 2.6.1.2612-10 – Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) (в ред. Изменений № 1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16.09.2013 № 43): Санитарные правила и нормативы. – М.
3. Комментарии к Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009), Санкт-Петербургский НИИРГ, С-Петербург, 2012.
4. Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources, Safety Series No 120.- Vienna: IAEA, 1996.
5. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Standards Series No 115.- Vienna: IAEA, 1996.
6. Occupational Radiation Protection, Safety Standards Series No. RS-G-1.1.- Vienna: IAEA, 1999.
7. Assessment of Occupational Exposure due to Intakes of Radionuclides, Safety Standards Series No. RS-G-1.2. – Vienna: IAEA, 1999.
8. Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation: Safety Guide. Safety Standards Series No. RS-G-1.3. – Vienna: IAEA, 1999.
9. Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection, Safety Standards Series No. RS-G-1.8, - Vienna: IAEA, 2005.
10. Technical Report Series No. 457, Dosimetry in Diognostic Radiology: An International Code of Practice, - Vienna: IAEA, 2007.
11. Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3 No GSR Part 3 – Vienna: IAEA, 2011.
12. Occupational Radiation Protection, Draft Safety Guide DS453, IAEA Safety Standards For protecting people and environment, Vienna: IAEA, 2015.
13. Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Ч. 1, Ч. 2. М.: Энергоатомиздат, 1994.
14. ICRP Publication 74, Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, International Commission on Radiological Protection, 1997.
15. ICRP Publication 75, General Principles for the Radiation Protection of Workers, 1997.
16. Публикация 103 МКРЗ, Рекомендации 2007 года Международной Комиссии по Радиационной Защите, М., 2009.
17. Публикация 105 МКРЗ, Радиационная защита в медицине, Международная комиссия по радиационной защите, 2011.
18. ICRU Report 34, The Dosimetry of pulsed radiation, International Commission on Radiation Units and Measurements, 1982.
19. ICRU Report 47, Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations, International Commission on Radiation Units and Measurements, 1992.
20. ICRU Report No. 51, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, International Commission on Radiation Units and Measurements, 1993.
21. ICRU Report 56, Dosimetry of External Beta Rays for Radiation Protection, International Commission on Radiation Units and Measurements, 1997.

22. ICRU Report 57, Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, International Commission on Radiation Units and Measurements, 1998.
23. ICRU Report 74, Patient Dosimetry for X-rays used in Medical Imaging, International Commission on Radiation Units and Measurements, 2005.
24. IEC 61066 ed. 2, 2006-06, Radiation protection instrumentation – Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring
25. 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.
26. IEC 61526 ed 3, 2010-07, Radiation protection instrumentation – Measurement of personal dose equivalents $H_p(10)$ and $H_p(0,07)$ for X, gamma, neutron and beta radiations –Direct reading personal dose equivalent meters.
27. IEC 62387 Edition 1.0 (2012-12-04) Radiation protection instrumentation – Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation.
28. IEC/TS 62743, 2012 Radiation protection instrumentation – Electronic counting dosemeters for pulsed fields of ionizing radiation.
29. IEC 61005, 2014-07, Radiation protection instrumentation – Neutron ambient dose equivalent (rate) meters.
30. Deficiencies of active electronic radiation protection dosemeters in pulsed fields, Rad. Prot. Dosimetry (2009), Vol. 135, No. 3.
31. Методические указания МУ 2.6.1.016 – 2000 «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования».
32. Методические указания МУ 2.6.1.25-2000 «Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования».
33. Методические указания 2.6.1.56-2002 «Контроль эквивалентных доз фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза».

Приложение 5. Список исполнителей

Руководитель работы: к.т.н.	К. Нурлыбаев (НПП «Доза»)
Исполнители:	
к.т.н.	О.А. Кочетков (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России)
к.т.н.	Ю.В. Абрамов (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России)
д.т.н.	В.Н. Клочков (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России)
к.ф.-м.н.	Ю.Н.Мартынюк (НПП "Доза")
к.ф.-м.н.	А.И.Каракаш (НПП "Доза")

gost.e-ecolog.ru