



**НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ДОЗА»**

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «НПП «Доза»

А.К. Нурлыбаев

«16» декабря 2020 г.



**МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ
АМБИЕНТНОГО И НАПРАВЛЕННОГО ЭКВИВАЛЕНТА
ДОЗЫ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ МОНИТОРИНГЕ РАБОЧИХ
МЕСТ ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО С ГЕНЕРИРУЮЩИМИ
ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ,
С ПОМОЩЬЮ ДОЗИМЕТРА *RAM ION***

МИ RAM ION-2020

г. Москва
г. Зеленоград
2020 г.

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНА Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «Доза» (ООО НПП «Доза»)

2 АТТЕСТОВАНА Федеральным бюджетным учреждением «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Москве и Московской области» (ФБУ «Ростест-Москва»)

3 УТВЕРЖДЕНА «16» декабря 2020 г. генеральным директором ООО НПП «Доза»

СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ АТТЕСТАЦИИ от «18» декабря 2020 г. № 7989/03-RA.RU.311703-2020, выдано ФБУ «Ростест-Москва»

СВЕДЕНИЯ О РЕГИСТРАЦИИ ФР.1.38.2021.39071

НОМЕР МЕТОДИКИ _____

ВЛАДЕЛЕЦ МЕТОДИКИ _____

Содержание

Введение	IV
1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	2
4 Обозначения и сокращения	6
5 Требования к показателям точности измерений	6
6 Средства измерений, вспомогательные устройства и материалы	7
7 Метод (методы) измерений	8
8 Требования безопасности и охраны окружающей среды	10
9 Требования к квалификации операторов	11
10 Условия измерений	11
11 Подготовка к выполнению измерений	11
12 Выполнение измерений	12
13 Обработка (вычисление) результатов измерений	21
14 Определение рабочей нагрузки установки	23
15 Процедуры обеспечения достоверности измерений	28
Библиография	30

Введение

Проведение мониторинга на рабочих местах обеспечивает сопоставление результатов измерений с установленными нормативами и непревышение установленных контрольных уровней на радиационно-опасном объекте.

Перечень операционных и нормируемых величин представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Нормируемые и операционные величины

Нормируемая величина	Операционная величина
Эффективная доза	Амбиентный эквивалент дозы фотонного излучения $H^*(10)$
Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза (на глубине 300 мг/см ²)	Направленный эквивалент дозы фотонного излучения $H'(3, \Omega)$
Эквивалентная доза за год в коже	Направленный эквивалент дозы фотонного излучения $H'(0,07, \Omega)$

1 Область применения

Настоящий документ, регламентирующий методику измерений, устанавливает требования к содержанию и выполнению работ при мониторинге рабочих мест персонала, включая специальную оценку условий труда, работающего с установками, являющимися генерирующими источниками фотонного излучения, с помощью дозиметра RAM ION.

Настоящая методика распространяется на следующие объекты:

- рентгеновские аппараты медицинского назначения (диагностические и терапевтические), в том числе для интервенционной радиологии;
- установки рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа;
- рентгеновские дефектоскопы;
- рентгеновские установки для персонального досмотра людей;
- рентгеновские установки для досмотра багажа и товаров;
- медицинские ускорители с максимальной энергией ускоренных электронов не более 20 МэВ.

2 Нормативные ссылки

ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики (методы) измерений

ГОСТ 8.638-2013 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения;

МИ 2453-2015 Рекомендация. ГСИ. Методики радиационного контроля. Общие требования;

МУ 2.6.5.026-2016 Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования;

МУ 2.6.5.028-2016 Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования;

МУ 2.6.5.037-2016 Контроль эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза;

Приказ Госкорпорации «Росатом» от 31.10.2013 № 1/10-НПА;

Приказ Минпромторга РФ от 15.12.2015 № 4091;

СанПиН 2.6.1.2523-99 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009;

СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010);

СанПиН 2.6.1.1192-03 Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований;

СанПиН 2.6.1.3106-13 Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при использовании рентгеновских сканеров для персонального досмотра людей;

СанПиН 2.6.1.3164-14 Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при рентгеновской дефектоскопии;

СанПиН 2.6.1.2573-10 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ;

СанПиН 2.6.1.3289-15 Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с источниками, генерирующими рентгеновское излучение при ускоряющем напряжении до 150 кВ;

СанПиН 2.6.1.3488-17 Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с лучевыми досмотровыми установками;

Серия норм МАГАТЭ по безопасности. «Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности, Общие требования безопасности № *GSR Part 3*»;

ИСО 12749-2:2013 «Ядерная энергия, ядерные технологии и радиологическая защита. Словарь. Часть 2. Радиологическая защита».

При использовании настоящей методики целесообразно проверить действие ссылочных нормативных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет. Если ссылочный нормативный документ заменен (изменен), то при использовании настоящей методики следует руководствоваться заменяющим (измененным) нормативным документом. Если ссылочный нормативный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящей методике применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 операционные величины: величины, используемые в практических приложениях для мониторинга и исследований, связанных с внешним облучением [1].

Примечания

1 Операционные величины определены с целью измерения и оценки доз в организме человека.

2 В дозиметрии внутреннего облучения не были определены операционные дозовые величины, которые непосредственно обеспечивали бы оценку эквивалентной дозы или эффективной дозы.

3 Различные методы применяются для оценки эквивалентной дозы или эффективной дозы от облучения радионуклидов в организме человека.

4 Эти методы в основном основаны на различных измерениях активности и применении биокинетических моделей (вычислительных моделей).

5 Можно использовать измеримые свойства полей излучения и радионуклидов, связанных с внешним облучением или поступлением радионуклидов, для оценки защитных величин и демонстрации соответствия требованиям, касающимся защитных величин. Эти измеримые величины называются операционными величинами.

3.2 эквивалент дозы: произведение поглощенной дозы в точке в ткани или органе и соответствующего коэффициента качества для излучения, приводящего к возникновению дозы [1].

Примечания

1 Мера дозы на ткань или орган, предназначенная для количественного выражения наносимого вреда.

2 Величина эквивалент дозы для целей радиационной защиты была заменена величиной эквивалентная доза.

3 Величина, используемая Международной комиссией по радиационным единицам и измерениям для выражения операционных величин: эквивалент амбиентной дозы, эквивалент направленной дозы и эквивалент индивидуальной дозы (см. величины эквивалента дозы).

3.3 амбиентный эквивалент дозы, $H^*(d)$, эквивалент амбиентной дозы, $H^*(d)$ [1]: эквивалент дозы, который создается соответствующим направленным и широким полем в стандартном шаре МКРЕ на глубине d по радиусу, имеющему направление, противоположное направлению направленного поля.

Примечания

1 Параметр, определенный в некоторой точке в поле излучения. Применяется как непосредственно измеряемая величина, которая представляет (в качестве замены) эффективную дозу для использования при мониторинге внешнего облучения.

2 Рекомендуемая глубина d для сильно проникающего излучения равна 10 мм.

3.4 направленный эквивалент дозы, $H'(d, \Omega)$, эквивалент направленной дозы, $H'(d, \Omega)$ [1]: эквивалент дозы, который создается соответствующим широким полем в стандартном шаре МКРЕ на глубине d по радиусу с определенным направлением Ω .

Примечания

1 Параметр, определенный в некоторой точке в поле излучения. Применяется как непосредственно измеряемая величина, которая представляет (в качестве замены) эквивалентную дозу в коже для использования при мониторинге внешнего облучения.

2 Рекомендуемая глубина d для слабопроникающего излучения равна 0,07 мм.

3.5 индивидуальный эквивалент дозы, $H_p(d)$, эквивалент индивидуальной дозы, $H_p(d)$ [1]: эквивалент дозы в мягкой ткани под указанной точкой на теле на соответствующей глубине d .

Примечания

1 Параметр, применяемый в виде непосредственно измеряемой величины, которая представляет (т.е. замещает) эквивалентную дозу в тканях или органах, или (с $d = 10$ мм) эффективную дозу при индивидуальном мониторинге (индивидуальном дозиметрическом контроле) внешнего облучения.

2 Рекомендованные значения d равны 10 мм для сильнопроникающего излучения и 0,07 мм для слабопроникающего излучения.

3 $H_p(0.07)$ используется для мониторинга рук и ног для всех типов излучения

4 $H_p(3)$ используется для мониторинга облучения хрусталиков глаз

5 "Мягкая ткань" обычно интерпретируется как шар МКРЕ.

3.6 дозиметр [2]: средство измерения ионизирующего излучения, предназначенное для измерения таких величин, как поглощенная доза или эквивалент дозы.

Примечания

1 В более широком смысле этот термин применяется для аппаратуры, предназначенной для измерения других величин, относящихся к излучению, таких как экспозиционная доза, флюенс и т.д., такое применение не рекомендуется

2 Эта аппаратура может функционировать с отдельным считывающим устройством для снятия показаний поглощенной или эквивалента дозы.

3.7 мониторинг [1]: измерение дозы, мощности дозы или активности для оценки или контроля облучения в результате облучения излучением или радиоактивными веществами, а также интерпретация полученных результатов.

Примечания

1 Слово "измерение" применяется здесь в довольно широком смысле. Под "измерением" дозы часто подразумевается измерение величины эквивалента дозы, представляющей (т.е. заменяющий) величину дозы, непосредственное измерение которой невозможно. Кроме того, в качестве предварительной меры при измерении может применяться отбор проб.

2 Объектами измерений могут фактически быть уровни излучения, концентрации активности в воздухе, уровни загрязнения, количества радиоактивного вещества или индивидуальные дозы.

3 Результаты этих измерений могут быть использованы для оценки радиологических опасностей или доз, возникающих или потенциально являющихся результатом облучения.

4 Мониторинг можно классифицировать двумя разными способами: в зависимости от того, где проводятся измерения – индивидуальный мониторинг, мониторинг рабочего места, мониторинг источника и мониторинг окружающей среды; а также по цели мониторинга – текущий мониторинг, мониторинг, связанный с выполнением конкретного задания, и специальный мониторинг.

3.8 индивидуальный мониторинг [1]: мониторинг с использованием измерений устройствами, которые носят работники, или измерений количеств радиоактивного материала, находящегося у них в организме или на их теле, или измерений радиоактивного вещества, выводимого из организма работников.

Примечания

1 Также называется персональным мониторингом.

2 Для работников, противопоставляется термину мониторинг рабочего места.

3 Включает, например, измерения количества радиоактивных веществ, попадающих в организм с помощью пробоотборников воздуха зоны дыхания.

3.9 мониторинг рабочего места [1]: мониторинг с проведением измерений в конкретных условиях рабочего места.

Примечание – Как правило, противопоставляется термину индивидуальный мониторинг.

3.10 тканевая эквивалентность [3]: свойство материала, быть по своим поглощающим и рассеивающим характеристикам по отношению к определенному излучению близким к биологической ткани.

3.11 фантом [3]: объект, сконструированный для моделирования рассеивающих и поглощающих свойств человеческого тела по отношению к данному ионизирующему излучению.

3.12 сфера МКРЕ [1]: сфера диаметром 30 см, изготовленная из тканевэквивалентного материала с плотностью 1 г/см^3 и массовым составом 76,2 % кислорода, 11,1 % углерода, 10,1 % водорода и 2,6 % азота.

Примечание – Сфера МКРЕ (Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям) используется в качестве эталонного фантома при определении величин эквивалентов дозы.

3.13 работник [1]: любое лицо, работающее полный или неполный рабочий день или временно на работодателя, которое признало права и обязанности в отношении радиационной защиты персонала.

Примечание – Работающий не по найму человек считается имеющим обязанности как работодателя, так и работника.

3.14 источник [3]: все, что может вызвать радиационное облучение - например, испускание ионизирующего излучения или выброс радиоактивных веществ или радиоактивного материала – и может рассматриваться как единое целое в целях защиты и безопасности

Примечание – Например, материалы, излучающие радон, являются источниками в окружающей среде; стерилизационное устройство гамма-облучения является источником практики консервирования пищевых продуктов при облучении и стерилизации других продуктов; рентгеновский аппарат может быть источником для рентгенодиагностики; Атомная электростанция является частью практики производства электроэнергии с помощью ядерного деления и может рассматриваться как источник (например, в отношении выбросов в окружающую среду) или как совокупность источников (например, в целях профессиональной радиационной защиты).

3.15 генератор излучения [3]: устройство, способное генерировать ионизирующее излучение, такое как рентгеновские лучи, нейтроны, электроны или другие заряженные частицы, которое может использоваться в научных, промышленных или медицинских целях.

3.16 рабочая нагрузка (W) [5]: степень использования источника рентгеновского или гамма-излучения:

- для рентгенооборудования, работающего с напряжением ниже 4 МВ, недельная рабочая нагрузка обычно выражается в миллиамперах в минуту (мА·мин/нед);

- для источников гамма-лучевой терапии и для рентгеновского оборудования при работе от 4 МВ или выше рабочая нагрузка указывается в терминах еженедельной дозы полезного пучка на расстоянии одного метра от источника и выражается в Грехах ($Gy \cdot m^2$).

Примечания

1 Следует учитывать ВСЕ виды излучения (как, например, при измерениях, проводимых в порядке обеспечения качества (ОК), в физических целях, для облучения крови и т.д.)

2 В курсе МАГАТЭ [7] в предположении отпуска на одного пациента 2,5 Гр и отпусков процедур 50 пациентам в день и 250 рабочих дней в году оценка рабочей нагрузки 40000 Гр/год.

4 Обозначения и сокращения

АЭД – амбиентный эквивалент дозы;

ВО – вспомогательное оборудование;

ИИИ – источник ионизирующего излучения;

ИСО – Международная организация по стандартизации (*International Organization for Standardization*);

МАГАТЭ — международное агентство по атомной энергии (*International Atomic Energy Agency, IAEA*);

МКРЕ – международная комиссия по радиационным единицам и измерениям (*International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU*);

СМК – система менеджмента качества;

СИ – средство измерения;

СОУТ – специальная оценка условий труда;

ФИФ – федеральный информационный фонд.

5 Требования к показателям точности измерений

5.1 Диапазоны измерений амбиентного и направленного эквивалента дозы фотонного излучения и расширенная неопределённость результатов измерений при коэффициенте охвата $k = 2$ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Диапазоны измерений и показатели точности измерений

Наименование измеряемой величины	Диапазон измерений	Расширенная неопределенность измерений ($k=2$), %, не более
Амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$ фотонного излучения с энергией до 3 МэВ	от 1 мкЗв до 10 Зв	40
Амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$ высокоэнергетического фотонного излучения с энергиями от 3 до 20 МэВ	от 1 мкЗв до 10 Зв	35
Направленный эквивалент дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения	от 1 мкЗв до 10 Зв	45
Направленный эквивалент дозы $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения	от 1 мкЗв до 10 Зв	45

6 Средства измерений, вспомогательные устройства и материалы

6.1 При выполнении измерений применяют средства измерений, вспомогательные устройства и материалы, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Средства измерений, вспомогательные устройства и материалы

Наименование средств измерений, вспомогательных устройств, материалов и реактивов	Метрологические и технические характеристики Требования к качеству реактивов
Дозиметр <i>RAM ION</i> (рег. № 66171-16)	Диапазон энергий регистрируемого фотонного излучения от 20 кэВ до 10 МэВ
	Диапазон измерений амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ фотонного излучения, направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ и $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения от 0,01 мкЗв до 10 Зв
	Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений: - амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ фотонного излучения не более ± 15 % - направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения не более ± 20 % - направленного эквивалента дозы $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения не более ± 30 % - амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ фотонного излучения в последовательности импульсов длительностью более 10 нс и частотой более 10 Гц не более ± 30 %

Наименование средств измерений, вспомогательных устройств, материалов и реактивов	Метрологические и технические характеристики Требования к качеству реактивов
	Энергетическая зависимость дозиметра для гамма-излучения относительно энергии 0,662 МэВ (^{137}Cs) не более $\pm 20\%$
	Угловая зависимость отклика для излучения радионуклида ^{137}Cs при угле падения $\pm 120^\circ$ относительно фронтального направления не более $\pm 5\%$
	Дополнительная погрешность при изменении температуры окружающего воздуха до предельного значения относительно нормальных условий (от мин $+10^\circ\text{C}$ до плюс 15°C и от плюс 25°C до плюс 50°C) не более $\pm 10\%$
Прибор контроля параметров воздушной среды метеометр МЭС-200А (рег. № 27468-04)	Погрешность измерения температуры окружающего воздуха не более $\pm 0,2^\circ\text{C}$
	Погрешность измерения атмосферного давления не более $\pm 0,3\text{ кПа}$
	Погрешность измерения относительной влажности не более $\pm 3\%$
Рулетка измерительная металлическая УМЗМ (рег. № 22003-07)	Длина не менее 3 м
Секундомер Интеграл С-01 (рег. № 44154-10)	Диапазон измерений интервалов времени от 0 до 1000 с
Тканеэквивалентные (водные) фантомы	Перечень используемых фантомов и их характеристики приводится в соответствующих пунктах раздела 12 для каждого типа установки

7 Метод (методы) измерений

7.1 Измерения амбиентного и направленного эквивалента дозы фотонного излучения проводятся с использованием дозиметра *RAM ION*, состоящего из негерметичной ионизационной камеры, электрометра, микроконтроллера и дисплея. Все узлы дозиметра расположены в корпусе из ударопрочной пластмассы.

7.2 Дозиметр укомплектован различными чехлами и насадками, используемыми в зависимости от характеристик измеряемого поля и определяемой величины:

- измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ фотонного излучения с энергией до 3 МэВ осуществляется с использованием тканеэквивалентного чехла с суммарной радиационной толщиной $1\,000\text{ мг/см}^2$ (складывается из толщины боковых стенок ионизационной камеры 300 мг/см^2 и стенок тканеэквивалентного чехла 700 мг/см^2);

- измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ высокоэнергетического фотонного излучения с энергиями от 3 до 20 МэВ проводится с установленной высокоэнергетической насадкой;

- измерение направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения проводится с установленной тканеэквивалентной фронтальной насадкой (300 мг/см^2);

- измерение направленного эквивалента дозы $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения проводится с использованием фронтального окна, имеющим радиационную толщину 7 мг/см^2 , поток излучения должен быть направлен во фронтальное окно.

7.3 Вид дозиметра для измерений в различных режимах приведен на рисунках 1–4.



Рисунок 1 – Измерение $H^*(10)$ фотонного излучения с энергией до 3 МэВ



Рисунок 2 – Измерение $H^*(10)$ высокоэнергетического фотонного излучения с энергиями 3 – 20 МэВ



Рисунок 3 – Измерение $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения



Рисунок 4 – Измерение $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения

8 Требования безопасности

8.1 Лица, проводящие мониторинг, должны соблюдать требования СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» и СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)».

8.2 К работе на установках, содержащих генерирующие ИИИ, допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, отнесенные приказом руководителя организации к категории персонала группы А, прошедшие инструктаж по требованиям радиационной безопасности при работе с установками, содержащими генерирующие ИИИ.

8.3 Лица, непосредственно осуществляющие управление установкой, должны быть обучены правилам работы с ней.

8.4 Перед началом проведения мониторинга уполномоченный персонал обязан провести проверку исправности оборудования в соответствии с требованиями технической документации и (или) принятыми в эксплуатирующей организации правилами и инструкциями. При обнаружении неисправности необходимо приостановить работу, провести диагностику и ремонт оборудования.

9 Требования к квалификации операторов

9.1 Оператор, проводящий измерения, должен иметь соответствующие профессиональные знания в области дозиметрии, изучить данную методику измерений и руководство по эксплуатации дозиметра, иметь практический опыт по измерению доз фотонного излучения.

10 Условия измерений

10.1 Методика обеспечивает метрологические характеристики при выполнении следующих условий:

- диапазон энергий фотонного излучения при измерении $H^*(10)$ от 20 кэВ до 20 МэВ;
- диапазон энергий фотонного излучения при измерении $H(3, \Omega)$, $H(0,07, \Omega)$ от 20 кэВ до 250 кэВ;
- температура окружающего воздуха от минус 20 °С до плюс 50 °С;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа;
- относительная влажность воздуха до 95 % при плюс 35 °С.

10.2 Окружающая среда, в которой проводятся измерения, не должна содержать паров кислот, спиртов и агрессивных сред.

10.3 Климатические условия в месте выполнения измерений должны соответствовать рабочим условиям применяемых СИ, указанным в соответствующей технической документации.

10.4 Иные условия проведения измерений, связанные с использованием тканеэквивалентных фантомов и выбором конкретных режимов работы установок, содержащих генерирующие ИИИ, приведены в соответствующих подразделах раздела 12.

11 Подготовка к выполнению измерений

11.1 Подготавливают дозиметр к работе:

- проверяют наличие элементов питания в отсеке для элементов питания;
- при необходимости выполняют замену элементов питания в соответствии с руководством по эксплуатации.

11.2 Устанавливают на дозиметр тканеэквивалентные чехлы и насадки в зависимости от перечня контролируемых величин:

- тканеэквивалентный чехол 700 мг/см² (суммарная радиационная толщина вместе со стенками ионизационной камеры будет составлять 1 000 мг/см²) при измерении амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ фотонного излучения с энергией до 3 МэВ;

- высокоэнергетическую насадку при измерении амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ высокоэнергетического фотонного излучения с энергиями 3 - 20 МэВ;
- фронтальную насадку (300 мг/см^2) при измерении направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения;
- измерение направленного эквивалента дозы $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения проводится непосредственно с фронтальным окном, имеющим радиационную толщину 7 мг/см^2 , поток излучения должен быть направлен во фронтальное окно.

11.3 Измеряют и фиксируют в рабочем журнале или ином документе в соответствии с установленными в лаборатории процедурами значение температуры, давления и влажности воздуха в месте выполнения измерений. Измерение значений температуры, давления и влажности выполняют согласно эксплуатационной документации на соответствующие средства измерений.

11.4 Уполномоченный персонал эксплуатирующей организации подготавливает к работе установку, содержащую генерирующие ИИИ, в соответствии с её технической документацией.

12 Выполнение измерений

12.1 Рентгеновские аппараты медицинского назначения

12.1.1 Операционными величинами для оценки эффективных и эквивалентных доз персонала являются амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$ и направленный эквивалент дозы $H'(3, \Omega)$, $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения.

12.1.2 Мониторинг дозы излучения на рабочих местах персонала рекомендуется проводить со следующей периодичностью:

- при получении технического паспорта рентгеновского кабинета;
- при изменении условий эксплуатации рентгеновского кабинета (изменение назначения кабинета и/или смежных помещений, замена рентгеновской трубки, защитных средств, при аварийных ситуациях и др.).
- измерения амбиентного и направленных эквивалентов дозы на рабочих местах персонала должны проводиться при стандартных значениях анодного напряжения, значении силы анодного тока не менее 2 мА и наличии фильтров, указанных в эксплуатационной документации на рентгеновский аппарат. Режимы работы рентгеновского аппарата представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Стандартизованные значения анодного напряжения U

Рентгеновская аппаратура	Анодное напряжение, кВ
Рентгенофлюорографический аппарат с люминесцентным экраном и оптическим переносом изображения, пленочный и цифровой	100
Рентгенофлюорографический малодозовый аппарат со сканирующей линейкой детекторов и цифровой обработкой изображения	100
Рентгенофлюорографический малодозовый аппарат с УРИ, ПЗС-матрицей и цифровой обработкой изображения	100
Рентгенодиагностический аппарат с цифровой обработкой информации	100
Рентгенодиагностический комплекс с полным набором штативов	100
Рентгеновский аппарат для рентгеноскопии (1-е рабочее место – поворотный стол-штатив ПСШ)	100
Рентгеновский аппарат для рентгенографии (2-е и 3-е рабочие места – стол снимков и стойка снимков)	100
Ангиографический комплекс	100
Рентгеновский компьютерный томограф	125
Хирургический передвижной аппарат с УРИ	100
Палатный рентгеновский аппарат	90
Рентгеноурологический стол	90
Рентгеновский аппарат для литотрипсии	90
Маммографический рентгеновский аппарат	40
Рентгеновский аппарат для планирования лучевой терапии (симулятор)	100
Аппарат для близко дистанционной рентгенотерапии	100
Аппарат для дальне дистанционной рентгенотерапии	250
Остеоденситометр для всего тела	Номинальное
Остеоденситометр для конечностей	70
Остеоденситометр для всего тела и его частей с использованием широкого пучка излучения и двумерного цифрового детектора	Номинальное

12.1.4 Все измерения должны проводиться с тканеэквивалентными (водными) фантомами, устанавливаемыми в том месте, где при диагностической процедуре находится зона облучения пациента. Перечень фантомов представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень используемых тканеэквивалентных (водных) фантомов

Тип рентгеновского кабинета	Параметры используемого фантома
Рентгенодиагностические кабинеты общего назначения; Рентгенотерапевтические кабинеты; Палатные и другие передвижные рентгеновские аппараты	Фантом размерами 250×250×150 мм
Рентгенофлюорографические кабинеты	Фантом размерами 250×250×75 мм
Ангиографические кабинеты	Фантом размерами 250×250×225 мм
Рентгеностоматологические аппараты	Фантом диаметром 150 и высотой 200 мм
Кабинеты маммографии	Штатные фантомы в комплекте с маммографическими рентгеновскими аппаратами. Допускается использование в качестве фантома пакета из пластика объемом 200 мл, заполненного водой
Кабинеты компьютерной томографии и остеоденситометрии	Штатные фантомы, имеющиеся в комплекте с компьютерными томографами и остеоденситометрами

12.1.5 Выбор точек для мониторинга осуществляется следующим образом:

а) измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ в зависимости от типа используемого рентгеновского аппарата проводится в точках, представленных в таблице 6;

б) измерение направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения проводится в местах фактического нахождения глаз персонала при проведении рентгенологических процедур;

в) измерение направленного эквивалента дозы $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения проводится для рентгеновских аппаратов, требующих непосредственного нахождения персонала рядом с аппаратом при проведении рентгенологических процедур (ангиография, цифровая флюороскопия и т.д.). Измерение $H'(0,07, \Omega)$ проводится в местах фактического нахождения кистей рук персонала при проведении рентгенологических процедур;

Таблица 6 – Точки для мониторинга

Место проведение измерений	Описание точек
Рабочие места персонала, непосредственно около рентгенодиагностического аппарата	Мониторинг проводится на участках размерами 60×60 см при вертикальном и горизонтальном положениях поворотного стола штатива в точках, расположенного на высоте (100±20) см Размер поля на приемнике изображения при проведении измерений необходимо с помощью диафрагмы установить равным 180×180 мм
Флюорографические кабинеты	Мониторинг проводится на расстоянии 20 см от поверхности кабины, флюорографической камеры и на расстоянии 60 см от кожуха рентгеновской трубки на высоте (100 ± 20) см от поверхности пола. Расстояние между точками измерений в горизонтальной плоскости должно быть не более 50 см
Хирургические, дентальные, маммографические и другие специализированные рентгеновские аппараты	Мониторинг проводится на участках фактического нахождения персонала во время проведения рентгенологических процедур
Рентгенотерапевтические кабинеты и кабинеты компьютерной томографии	Мониторинг проводится на рабочих местах персонала на высоте (100 ± 20) см

12.1.6 Проводят измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ и направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$, $H'(0,07, \Omega)$ в каждой из выбранных точек. Время работы рентгеновского аппарата должно быть достаточным для проведения измерений.

При проведении измерения направленного эквивалента дозы $H'(0,07, \Omega)$ поток излучения должен быть направлен во фронтальное окно.

12.1.7 Во время проведения измерений направленных эквивалентов дозы необходимо осуществить вращение дозиметра относительно предполагаемого направления падения излучения и определить положение, при котором его показания будут максимальными. Измерения проводятся в найденном положении

Фиксируют количество электричества, прошедшего через анод рентгеновской трубки за время измерения, в каждой выбранной точке Q , мА·с.

Записывают результаты измерений в рабочий журнал или иной документ, предназначенный для фиксации первичных наблюдений, в соответствии с установленными в лаборатории процедурами.

12.2 Установки рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа

12.2.1 Операционными величинами для оценки эффективных и эквивалентных доз персонала являются амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$ и направленные эквиваленты дозы $H'(3, \Omega)$, $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения.

12.2.2 Измерения амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ и направленных эквивалентов дозы $H'(3, \Omega)$, $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения должны проводиться при стандартных режимах работы оборудования, указанных в эксплуатационной документации (анодное напряжение, анодный ток, перечень используемых фильтров).

12.2.3 Мониторинг дозы излучения на рабочих местах персонала рекомендуется проводить со следующей периодичностью:

- один раз в квартал;
- при каждом изменении режима эксплуатации установки, конструкции радиационной защиты и т.д.

Выбор точек для мониторинга осуществляется следующим образом:

а) на рабочих местах персонала – измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ проводится на высоте над полом (100 ± 20) см,

б) измерение направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения проводится в местах фактического нахождения глаз персонала при проведении работ с установкой.

в) измерение направленного эквивалента дозы $H'(0,07, \Omega)$ фотонного излучения проводится в местах возможного нахождения кистей рук персонала для установок, при эксплуатации которых возможен выход прямого пучка излучения за пределы корпуса установки либо возможен доступ в область прямого пучка излучения при работе установки.

12.2.4 Проводят измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ и направленных эквивалентов дозы $H'(3, \Omega)$, $H'(0,07, \Omega)$ в каждой из выбранных точек. Время работы рентгеновского аппарата должно быть достаточным для проведения измерений.

12.2.5 При проведении измерения направленного эквивалента дозы $H'(0,07, \Omega)$ поток излучения должен быть направлен во фронтальное окно.

12.2.6 Во время проведения измерений направленных эквивалентов дозы необходимо осуществить вращение дозиметра относительно предполагаемого направления падения излучения и определить положение, при котором его показания будут максимальными. Измерения проводятся в найденном положении.

12.2.7 С помощью секундомера фиксируют время работы установки при проведении измерений в каждой выбранной точке t , с.

12.2.8 Результаты измерений записывают в рабочий журнал или иной документ, предназначенный для фиксации первичных наблюдений в соответствии с установленными в лаборатории процедурами.

12.3 Рентгеновские дефектоскопы

12.3.1 Операционными величинами для оценки эффективных и эквивалентных доз персонала являются амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$ и направленный эквивалент дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения.

12.3.2 Измерения амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ и направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения должны проводиться при стандартных режимах работы оборудования, указанных в эксплуатационной документации.

12.3.3 Мониторинг дозы излучения на рабочих местах персонала рекомендуется проводить со следующей периодичностью:

- один раз в квартал;
- при каждом изменении условий просвечивания (увеличение рабочего напряжения или мощности рентгеновского дефектоскопа, изменение режима его эксплуатации, изменение конфигурации пучка рентгеновского излучения, изменение конструкции защитных устройств и т.д.);

12.3.4 Выбор точек для мониторинга осуществляется следующим образом:

а) на рабочих местах персонала – измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ проводится на высоте над полом (100 ± 20) см.

б) измерение направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения проводится в местах фактического нахождения глаз персонала при проведении работ с установкой.

12.3.5 Проводят измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ и направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ в каждой из выбранных точек. Время работы дефектоскопа (заданное количество импульсов) должно быть достаточным для проведения измерений.

12.3.6 Во время проведения измерений направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ необходимо осуществить вращение дозиметра относительно предполагаемого направления падения излучения и определить положение, при котором его показания будут максимальными. Измерения проводятся в найденном положении.

12.3.7 Фиксируют количество сгенерированных дефектоскопом импульсов при проведении измерений в каждой выбранной точке N , шт.

12.3.8 Результаты измерений записывают в рабочий журнал или иной документ, предназначенный для фиксации первичных наблюдений в соответствии с установленными в лаборатории процедурами.

12.4 Рентгеновские установки для персонального досмотра людей

12.4.1 Операционными величинами для оценки эффективных и эквивалентных доз персонала являются амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$ и направленный эквивалент дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения.

12.4.2 Мониторинг дозы излучения на рабочих местах персонала рекомендуется проводить со следующей периодичностью:

- один раз в год в плановом порядке;
- при каждом изменении условий эксплуатации установки (ремонт рентгеновского сканера человека, замена рентгеновской трубки или элементов радиационной защиты и т.д.).

12.4.3 Для установок, допускающих регулирование параметров генерации пучка рентгеновского излучения (анодное напряжение рентгеновской трубки, анодный ток), мониторинг должен проводиться при максимальных значениях рабочих параметров. В остальных случаях измерения проводятся в штатном режиме работы установки.

12.4.4 Выбор точек для мониторинга осуществляется следующим образом:

а) на рабочих местах персонала – измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ проводится на высоте над полом (100 ± 20) см;

б) измерение направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения проводится в местах фактического нахождения глаз персонала при проведении работ с установкой.

12.4.5 Измерения должны проводиться с тканеэквивалентным (водным) фантомом размерами $(250 \times 250 \times 150)$ мм, устанавливаемом в том месте, где при проведении сканирования находится досматриваемый человек. Фантом располагают таким образом, что пучок рентгеновского излучения проходил через его центр.

12.4.6 Проводят измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ и направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ в каждой из выбранных точек. Время работы установки (количество сканирований) должно быть достаточным для проведения измерений.

12.4.7 Во время проведения измерений направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ необходимо осуществить вращение дозиметра относительно предполагаемого направления падения излучения и определить положение, при котором его показания будут максимальными. Измерения проводятся в найденном положении.

12.4.8 Фиксируют количество сканирований при проведении измерений в каждой выбранной точке N , шт.

12.4.9 Результаты измерений записывают в рабочий журнал или иной документ, предназначенный для фиксации первичных наблюдений в соответствии с установленными в лаборатории процедурами.

12.5 Рентгеновские установки для досмотра багажа и товаров

12.5.1 Операционными величинами для оценки эффективных и эквивалентных доз персонала являются амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$ и направленный эквивалент дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения.

12.5.2 Для установок, допускающих регулирование параметров генерации пучка рентгеновского излучения (анодное напряжение рентгеновской трубки, анодный ток), мониторинг должен проводиться при максимальных значениях рабочих параметров. В остальных случаях измерения должны проводиться при стандартных режимах работы оборудования, указанных в эксплуатационной документации.

12.5.3 Мониторинг дозы излучения на рабочих местах персонала рекомендуется проводить со следующей периодичностью:

- один раз в год в плановом порядке;
- перед вводом в эксплуатацию;
- при каждом изменении условий эксплуатации установки (ремонт, замена рентгеновской трубки или элементов радиационной защиты и т.д.).

12.5.4 Выбор точек для мониторинга осуществляется следующим образом:

а) на рабочих местах персонала – измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ проводится на высоте над полом: (100 ± 20) см;

б) измерение направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения проводится в местах фактического нахождения глаз персонала при проведении работ с установкой.

12.5.5 Измерения должны проводиться с установленным имитатором объекта контроля, идущим в комплекте с установкой. В качестве имитатора допускается использовать пластиковую емкости объемом не менее 5 л, заполненную водой. Имитатор располагают таким образом, чтобы пучок рентгеновского излучения проходил через его центр.

12.5.6 Проводят измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ и направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ в каждой из выбранных точек. Время работы установки (количество сканирований) должно быть достаточным для проведения измерений.

12.5.7 Во время проведения измерений направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ необходимо осуществить вращение дозиметра относительно предполагаемого направления падения излучения и определить положение, при котором его показания будут максимальными. Измерения проводятся в найденном положении.

12.5.8 Фиксируют количество сканирований при проведении измерений в каждой выбранной точке N , шт.

12.5.9 Результаты измерений записывают в рабочий журнал или иной документ, предназначенный для фиксации первичных наблюдений в соответствии с установленными в лаборатории процедурами.

12.6 Медицинские терапевтические ускорители электронов

12.6.1 Операционными величинами для оценки эффективных и эквивалентных доз персонала являются амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$ и направленный эквивалент дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения.

12.6.2 Измерения проводятся для ускорителей электронов с максимальной энергией ускоренных электронов не более 20 МэВ.

12.6.3 Мониторинг дозы излучения на постоянных рабочих местах персонала рекомендуется проводить со следующей периодичностью:

- два раза в год для стационарных ускорителей;
- один раз в месяц для передвижных ускорителей и ускорителей с индивидуальной защитой;
- при каждом изменении условий эксплуатации ускорителя (ремонт ускорителя, реконструкция элементов радиационной защиты, изменение режимов работы и т.д.);

12.6.4 Мониторинг проводится при стандартных значениях рабочих параметров ускорителя.

12.6.5 Измерения должны проводиться с установленным имитатором объекта. Для имитации облучаемых объектов используют штатные фантомы. Фантом располагают таким образом, чтобы пучок излучения проходил через его центр.

12.6.6 Выбор точек для мониторинга осуществляется следующим образом:

а) на рабочих местах персонала – измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ проводится на высоте над полом (100 ± 20) см;

б) измерение направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ фотонного излучения проводится в местах фактического нахождения глаз персонала при проведении работ с установкой.

12.6.7 Проводят измерение амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ и направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ в каждой из выбранных точек. Время работы ускорителя должно быть достаточным для проведения измерений.

12.6.8 Во время проведения измерений направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ необходимо осуществить вращение дозиметра относительно предполагаемого направления падения излучения и определить положение, при котором его показания будут максимальными. Измерения проводятся в найденном положении.

12.6.9 Фиксируют дозу в зоне мишени (дозу в изоцентре) при проведении измерений в каждой выбранной точке T , Гр.

12.6.10 Результаты измерений записывают в рабочий журнал или иной документ, предназначенный для фиксации первичных в соответствии с установленными в лаборатории процедурами.

13 Обработка (вычисление) результатов измерений

13.1 Обработка результатов измерений эквивалентов дозы

13.1.1 Рассчитывают нормированное значение амбиентного эквивалента дозы и направленных эквивалентов доз фотонного излучения по формуле

$$G_K = G / K \quad (1)$$

где G – показание дозиметра $H^*(10)$ или $H'(3, \Omega)$, $H'(0,07, \Omega)$ мкЗв;

K – зафиксированное при проведении измерений значение параметра для нормирования:

- количество электричества для рентгеновских аппаратов медицинского назначения, мА·с;
- время работы для установок рентгеноструктурного и рентгено-спектрального анализа, с;
- количество импульсов для рентгеновских дефектоскопов, шт.;
- количество сканирований для досмотровых установок людей и багажа, шт.;
- доза в изоцентре для медицинских терапевтических ускорителей электронов, Гр.

Для дальнейших расчетов используют то показание G , для которого соответствующее значение G_K имеет максимальное значение.

13.1.2 Рассчитывают значение эквивалента дозы фотонного излучения по формуле

$$H = N_0 K_{E,\varphi} K_{temp} K_{press} G \quad (2)$$

где H – измеряемая величина, амбиентный или направленный эквивалент дозы фотонного излучения, мкЗв;

N_0 – эталонный калибровочный коэффициент, отн.ед.;

$K_{E,\varphi}$ – поправочный коэффициент на энергию и угол падения фотонного излучения, отн.ед.;

K_{temp} – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды, отн.ед.;

K_{press} – поправочный коэффициент на атмосферное давление, отн. ед.;

G – показание дозиметра.

В формуле (2) представлены только актуальные для дозиметра с ионизационной камерой поправочные коэффициенты.

13.1.3 Калибровочный коэффициент дозиметра определяется на эталонной установке ($\pm 5\%$) с радионуклидным источником $Cs-137$ с энергией 662 кэВ. Эталонный калибровочный коэффициент равен 1,05.

$$N_0 = 1,05 \quad (3)$$

13.1.4 Рассчитывают значение поправки, связанной с приведением температуры к нормальным условиям, по формуле

$$K_{temp} = \frac{T + 273,15}{293,15}, \quad (4)$$

где T – измеренное значение температуры, °С.

13.1.5 Рассчитывают значение поправки, связанной с приведением давления к нормальным условиям, по формуле

$$K_{press} = \frac{101,325}{p}, \quad (5)$$

где p – измеренное значение давления, кПа.

13.1.6 Рассчитывают максимальное значение поправочного коэффициента на энергию и угол падения фотонного излучения

$$K_{E,\varphi} = \sqrt{(1,05)^2 + (1,2)^2} = 1,59 \quad (6)$$

Калибровочный коэффициент дозиметра определяется на эталонной установке с радионуклидным источником $Cs-137$ с энергией 662 кэВ. Согласно описанию типа средства измерения, энергетическая зависимость отклика дозиметра относительно данной энергии не превышает $\pm 20\%$, то есть находится в пределах $1,0 \pm 0,2$, а поправочный коэффициент на анизотропию $\pm 5\%$.

13.1.7 Рассчитывают абсолютную стандартную неопределенность s_i и коэффициент чувствительности c_i для каждой составляющей, представленной в таблице 7.

Таблица 7 – Бюджет неопределенности при измерении эквивалентов дозы

Величина	Наилучшая оценка	Абсолютная стандартная неопределенность, s_i	Распределение: среднее значение x , полуширина a	Коэффициент чувствительности *, c_i
N_0	1,0	$0,025/\sqrt{6}$	Треугольное: $x=1,0, a=0,025$	$K_{E,\varphi} \cdot K_{temp} \cdot K_{press} \cdot G$
$K_{E,\varphi}$	Расчет по формуле (6)	$0,3/3$	Нормальное: $x=1,00, a=0,3$	$K_{temp} \cdot K_{press} \cdot G$
K_{temp}	Расчет по формуле (4)	$0.005/\sqrt{3}$	Прямоугольное: $x=1,0, a=0,005$	$K_{E,\varphi} \cdot K_{press} \cdot G$
K_{press}	Расчет по формуле (5)	$0,005/\sqrt{3}$	Прямоугольное: $x=1,0, a=0,005$	$K_{E,\varphi} \cdot K_{temp} \cdot G$
G	Показание, G	$0,05 G$	Нормальное: $x = G$ мкЗв, $a = G \cdot 0,05$ мкЗв	$K_{E,\varphi} \cdot K_{temp} \cdot K_{press}$

13.1.8 Рассчитывают абсолютную стандартную неопределенность результата измерений по формуле

$$u_{H^*(10)} = \sqrt{\sum_i (c_i s_i)^2} \quad (7)$$

13.1.9 Рассчитывают расширенную абсолютную неопределенность для коэффициента охвата $k=2$ ($P=0,95$) по формуле

$$U_{H^*(10)} = 2 \cdot u_{H^*(10)} \quad (8)$$

14 Определение рабочей нагрузки установки

В дозиметрии импульсных излучений измеряемой характеристикой радиационной обстановки является доза облучения. Оценка годовых доз, получаемых персоналом, проводится с учетом реальной рабочей нагрузки установки $W_{\text{раб}}$. Для расчета этой нагрузки в данном разделе методики определены параметры работы установки, на которые нормируются значения доз, полученные при проведении мониторинга рабочих мест.

14.1 Рентгеновские аппараты медицинского назначения

14.1.1 Параметром для нормирования является количество электричества Q .

14.1.2 Расчет реальной рабочей нагрузки $W_{\text{раб}}$ выполняют следующим образом: используя данные программного обеспечения, рабочих журналов и иной документации эксплуатирующей организации анализируют информацию о 30 - 40 последних процедурах и составляют выборку количества электричества, прошедшего через анод рентгеновской трубки.

$$\{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$$

14.1.3 Вычисляют среднее количество электричества на одну процедуру по формуле

$$Q_{\text{ср}} = \text{МЕДИАНА}(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \quad (9)$$

14.1.4 Используя данные программного обеспечения, рабочих журналов и иной документации эксплуатирующей организации рассчитывают среднее количество процедур за рабочий день по формуле

$$N_{\text{оп}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} \quad (10)$$

где N_i – количество процедур в i -й день, шт;

n – количество проанализированных рабочих дней, шт. Значение n должно быть не менее 20.

14.1.5 Рассчитывают $W_{\text{раб}}$ по формуле

$$W_{\text{раб}} = N_{\text{оп}} \cdot Q_{\text{ср}} \cdot N_{\text{год}} / Q_{\text{изм}} \quad (11)$$

где $N_{\text{оп}}$ – среднее количество процедур в день, шт;

$Q_{\text{ср}}$ – среднее количество электричества на одну процедуру, мА·с;

$N_{\text{год}}$ – количество рабочих дней персонала в году;

$Q_{\text{изм}}$ – количество электричества, зафиксированное во время проведения измерений, мА·с.

14.1.6 Для рентгеновских аппаратов, которые эксплуатируются без фактического изменения параметров установок (анодное напряжение, анодный ток, время экспозиции) рабочая нагрузка может быть рассчитана на основании среднего количества проводимых процедур в день по формуле

$$W_{\text{раб}} = N_{\text{оп}} \cdot Q_{\text{ср}} \cdot N_{\text{год}} / Q_{\text{изм}} \quad (12)$$

где $N_{\text{оп}}$ – среднее количество процедур за рабочий день, шт;

$Q_{\text{оп}}$ – количество электричества на одну процедуру, мА·с;

$N_{\text{год}}$ – количество рабочих дней персонала в году;

$Q_{\text{изм}}$ – количество электричества, зафиксированное во время проведения измерений, $\text{мА} \cdot \text{с}$.

14.2 Установки рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа

14.2.1 Параметром для нормирования является время работы установки t .

14.2.2 Расчет реальной рабочей нагрузки $W_{\text{раб}}$ выполняют следующим образом:

Используя данные рабочих журналов и иной документации эксплуатирующей организации, определяют среднее время работы установки за один рабочий день $t_{\text{день}}$, с.

Рассчитывают $W_{\text{раб}}$ по формуле

$$W_{\text{раб}} = t_{\text{день}} \cdot N_{\text{год}} / t_{\text{изм}} \quad (13)$$

где $t_{\text{день}}$ – среднее время работы установки за один рабочий день, шт.;

$N_{\text{год}}$ – количество рабочих дней персонала в году, шт.

$t_{\text{изм}}$ – время работы установки, зафиксированное во время проведения измерений, с.

14.3 Рентгеновские дефектоскопы

14.3.1 Параметром для нормирования является количество импульсов N .

14.3.2 Расчет реальной рабочей нагрузки $W_{\text{раб}}$ выполняют следующим образом:

Используя данные рабочих журналов и иной документации эксплуатирующей организации, анализируют информацию о 20 – 30 последних дефектоскопированиях и составляют выборку количества импульсов, которое задавалось при проведении.

$$\{N_1, N_2, \dots, N_n\}$$

Вычисляют среднее количество задаваемых импульсов на одно дефектоскопирование по формуле

$$N_{\text{ср}} = \text{МЕДИАНА}(N_1, N_2, \dots, N_n) \quad (14)$$

Используя данные рабочих журналов и иной документации эксплуатирующей организации, рассчитывают среднее количество дефектоскопирований за рабочий день по формуле

$$N_{\text{он}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} \quad (15)$$

где N_i – количество дефектоскопирований в i -й день, шт;

n – количество проанализированных рабочих дней, шт значение n должно быть не менее 20.

Рассчитывают $W_{\text{раб}}$ по формуле

$$W_{\text{раб}} = N_{\text{оп}} \cdot N_{\text{ср}} \cdot N_{\text{год}} / N_{\text{изм}} \quad (16)$$

где $N_{\text{оп}}$ – среднее количество дефектоскопирований в день, шт.;

$N_{\text{ср}}$ – среднее количество импульсов на одно дефектоскопирование, шт.;

$N_{\text{год}}$ – количество рабочих дней персонала в году, шт;

$N_{\text{изм}}$ – количество импульсов, зафиксированное во время проведения измерений, шт.

14.4 Рентгеновские установки для досмотра людей и багажа

14.4.1 Параметром для нормирования является количество сканирований N .

14.4.2 Расчет реальной рабочей нагрузки $W_{\text{раб}}$ выполняют следующим образом:

Используя данные рабочих журналов и иной документации эксплуатирующей организации, определяют среднее количество сканирований $N_{1ч}$ за 1 час работы установки, шт.·ч⁻¹. В случае невозможности получения указанных данных используют сведения из технической документации на установку.

Рассчитывают $W_{\text{раб}}$ по формуле

$$W_{\text{раб}} = N_{1ч} \cdot t_{\text{год}} / t_{\text{изм}} \quad (17)$$

где $N_{1ч}$ – количество сканирований за 1 час работы установки, шт.·ч⁻¹;

$t_{\text{год}}$ – количество рабочих часов персонала в год, ч.

14.5 Медицинские терапевтические ускорители электронов

14.5.1 Параметром для нормирования является рабочая нагрузка (доза в изоцентре) $W_{\text{раб}}$, Гр. [6, 7]

14.5.2 Расчет реальной рабочей нагрузки $W_{\text{раб}}$ выполняют следующим образом:

- на одного пациента отпускается доза в изоцентре 2,5 Гр;
- ежедневно процедуры отпускаются 50 пациентам;
- процедуры отпускаются 250 рабочих дней в году.

14.5.3 Оценка рабочей нагрузки в год:

$$W_{\text{год}} = 50 \cdot 250 \cdot 2,5 = 31250 \text{ Гр/год} \quad (18)$$

14.5.4 С учетом других видов использования (напр., в физических целях для облучения крови или при измерениях, проводимых в порядке обеспечения качества (ОК),

$$W_{\text{год}} = 40\,000 \text{ Гр/год} \quad (19)$$

Расчет дозы в изоцентре за время проведения измерений выполняют следующим образом:

$$W_{\text{изм}} = N_{\text{изм}} \cdot 2,5 \text{ Гр} \quad (20)$$

где $N_{\text{изм}}$ – количество пациентов, зафиксированное во время проведения измерений.

Рассчитывают $K_{\text{раб}}$ по формуле

$$K_{\text{раб}} = W_{\text{год}} / W_{\text{изм}} \quad (21)$$

14.6 Оформление результатов измерений

14.6.1 Результаты измерений оформляются протоколом или иным документом в соответствии с действующей системой менеджмента качества.

14.6.2 Результат измерений амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ записывают в виде:

$$\left(H^*(10) \pm U_{H^*(10)} \right), \text{ мкЗв } k=2, P=0,95 \quad (22)$$

14.6.3 Результат измерений направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ записывают в виде:

$$\left(H'(3, \Omega) \pm U_{H'(3, \Omega)} \right), \text{ мкЗв } k=2, P=0,95 \quad (23)$$

14.6.4 Результат измерений направленного эквивалента дозы $H'(0,07, \Omega)$ записывают в виде:

$$\left(H'(0,07, \Omega) \pm U_{H'(0,07, \Omega)} \right), \text{ мкЗв } k=2, P=0,95 \quad (24)$$

14.6.5 Оценка годовых эффективной дозы и эквивалентных доз в хрусталике глаза и коже для установок, содержащих генерирующие источники фотонного излучения, проводится с учетом их реальной рабочей нагрузки $W_{\text{раб}}$ и расширенной неопределенности результатов проведенных измерений.

14.6.6 Значение $K_{\text{раб}}$ в зависимости от типа установки определяют по алгоритму, представленному в разделе 14 настоящей методики.

14.6.7 Оценку годовой эффективной дозы E проводят по формуле

$$E = (H^*(10) + U_{H^*(10)}) \cdot K_{\text{раб}} \quad (25)$$

14.6.8 Значения годовых эквивалентных доз в хрусталике глаза и коже рассчитывают по формулам

$$H'(3) = (H'(3) + U_{H'(3, \Omega)}) \cdot K_{\text{раб}} \quad (26)$$

$$H'(0,07) = (H'(0,07) + U_{H'(0,07,\Omega)}) \cdot K_{\text{раб}} \quad (27)$$

14.6.9 Для сопоставления полученных значений годовой эффективной дозы и годовых эквивалентных доз в хрусталике глаза и коже с контрольными уровнями используют следующие соотношения

$$E \leq E_{\text{контр}} \quad (28)$$

$$H'(3) \leq H'(3)_{\text{контр}} \quad (29)$$

$$H'(0,07) \leq H'(0,07)_{\text{контр}} \quad (30)$$

где индекс «контр» относится к установленным контрольным уровням эффективной дозы и эквивалентных доз в хрусталике глаза и коже.

15 Процедуры обеспечения достоверности измерений

15.1 Настоящая методика измерений обеспечивает установленные метрологические характеристики при условии работоспособности дозиметра, соблюдения условий его эксплуатации и процедуры выполнения измерений.

15.2 Периодическую поверку дозиметра проводят в соответствии с его методикой поверки с установленной при утверждении типа СИ периодичностью.

15.3 Контроль точности результатов измерений проводят периодически не реже 2 раз в год.

15.4 Измерения проводят на одной и той же установке, содержащей генерирующий источник фотонного излучения.

15.5 Выполняют измерения амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ в точках контроля двумя разными операторами с промежутком времени между измерениями не более 30 мин. Измерения выполняют в соответствии с настоящей методикой. Время работы установки должно быть одинаковым при проведении измерений разными операторами.

15.6 Записывают полученные значения $H_1^*(10)$, $H_2^*(10)$ в рабочий журнал.

15.7 Вычисляют абсолютные расширенные неопределенности измеренных значений U_1 , U_2 в соответствии с разделом 14 настоящей методики.

15.8 Считают, что методика измерений обеспечивает установленные метрологические характеристики, если выполняется условие

$$\frac{|H_1^*(10) - H_2^*(10)|}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}} \leq 1 \quad (31)$$

15.9 В том случае, если условие (31) не выполняется, контроль точности результатов измерений повторяют.

15.10 В случае повторного невыполнения условия (31) выясняют причины, которые могли привести к неудовлетворительному результату. При этом проверяют соблюдение положений настоящего документа в ходе выполнения измерений, а также правильность выполненных расчетов.

Библиография

- [1] *Glossary IAEA Safety Glossary Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2018 Edition*
- [2] *IEC 60050-395:2014 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 395: Nuclear instrumentation – Physical phenomena, basic concepts, instruments, systems, equipment and detectors*
- [3] ИСО 12749-2:2013 Ядерная энергия, ядерные технологии и радиологическая защита. Словарь. Часть 2: Радиологическая защита
- [4] *IEC 60050-881: 1983 International electrotechnical vocabulary – Chapter 881: Radiology and radiological physics*
- [5] SRS-47 Серия сообщений о безопасности No.47 Радиационная защита при проектировании радиотерапевтических средств МАГАТЭ 2006
- [6] *NCRP 49 National Council of Radiation Protection, USA, 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.*
- [7] Курс обучения МАГАТЭ для регуляторов «Радиационная защита и безопасность в радиотерапии», модуль 7, Проект, схема расположения и защита в отделении лучевой терапии