

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра проектирования и технологии радиоэлектронных средств

А.С. ЛЕЛЮХИН

РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2008

УДК.621.386 (076.5)
ББК 32.995 я73
Л 43

Рецензент

кандидат физико-математических наук, доцент Е.А. Корнев

Л 43 **Лелюхин, А.С.**
Радиационный контроль: методические указания к лабораторному практикуму /А.С. Лелюхин. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2008. - 38 с.

Лабораторный практикум состоит из четырех лабораторных работ. Каждая работа включает теоретический материал, контрольные вопросы и задания.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторного практикума по дисциплине «Физические основы рентгеновских методов диагностики и контроля» для студентов специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

ББК 32.995 я73

© Лелюхин А.С., 2008
© ГОУ ОГУ, 2008

Содержание

1 Принципы радиационной безопасности при работе с источниками рентгеновского излучения.....	4
2 Радиационный контроль передвижных и индивидуальных средств защиты от рентгеновского излучения	14
3 Радиационный контроль рентгенодиагностических и рентгенотерапевтических кабинетов	22
4 Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. Измерение радиационного выхода рентгеновских излучателей	32
5 Определение радиационного выхода рентгеновских излучателей по результатам проведенных измерений.....	36
Список использованных источников	38

1 Принципы радиационной безопасности при работе с источниками рентгеновского излучения

Цель работы: познакомиться с принципами радиационной безопасности при работе с источниками рентгеновского излучения. Освоить работу с дозиметром ДКС-1123. Произвести контроль радиационной обстановки в лаборатории.

1.1 Нормирование доз облучения при работе с источниками ионизирующих излучений

Использование рентгеновских аппаратов может сопровождаться действием на персонал первичного и вторичного (рассеянного) излучения. Уровень его воздействия определяется материалом анода и выходного окна трубки, напряжением и током рентгеновской трубки, режимом его работы (например, схемой выпрямления), физико-химическими свойствами объекта исследования, условиями эксплуатации (например, расстоянием до окружающих объектов – стен помещения). Существенно, что генерация проникающего излучения прекращается после окончания подачи высокого напряжения на трубку.

При несоблюдении правил пользования рентгеновским излучением оно может оказаться опасным для здоровья человека. Для управления факторами, снижающими радиационную опасность, используют три принципа: нормирование времени облучения, удаление на безопасное расстояние, использование защитных средств.

Степень воздействия облучения на биологические объекты определяется величиной поглощенной объектом энергии. Однако равное количество поглощенной энергии разных видов излучения может вызвать различный биологический эффект, поскольку биологическое действие будет определяться пространственным распределением энергии, передаваемой среде. Следовательно, поглощенная энергия не может служить адекватным критерием биологического эффекта.

Для характеристики степени воздействия на организм вводится поправка – коэффициент качества излучения, определяющий зависимость биологического эффекта данного вида излучения от величины линейной передачи энергии этого излучения. Так, например, гамма-излучение, обладающее высокой проникающей способностью, поглощается по экспоненциальному закону практически по всему объему объекта исследования, имеет коэффициент качества равный единице. Альфа-излучение, имеющее низкую проникающую способность, поглощается локально в точке объекта исследования, следовательно, в единице массы выделяется большая энергия, и коэффициент качества здесь уже равен 20.

Действие ионизирующих излучений в определенных дозах может вызвать неблагоприятные для здоровья эффекты. Если вредные эффекты облучения выявляются, начиная с какого-то определенного порогового значения дозы, то их называют нестохастическими или пороговыми. К таковым относятся помутнение хрусталика глаза, нарушение воспроизводительной функции, лучевые поражения зародыша и плода, косметическое повреждение разных тканей и др.

Последствия облучения человека, вероятность проявления которых существует при сколь угодно малых дозах ионизирующего излучения и возрастает с дозой, называют стохастическими или беспороговыми. В настоящее время предпочтительной считается гипотеза линейной зависимости доза-эффект в диапазоне нормируемых уровней непрерывного облучения. Наиболее характерными стохастическими эффектами действия радиации являются лейкемия и другие формы злокачественных образований, а также передаваемые потомству наследственные изменения.

Целью соблюдения принципов радиационной безопасности является предотвращение вредных нестохастических эффектов и ограничение вероятности стохастических эффектов до уровней, считающихся приемлемыми. Основным государственным документом, регламентирующим уровни облучения персонала и населения в нашей стране, являются «Нормы радиационной безопасности (НРБ) и «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП).

Для обеспечения радиационной безопасности в организации, производственная деятельность которой заключается в обращении с техногенными источниками рентгеновского излучения, персонал организации делится на две группы. Согласно Нормам и Правилам, к персоналу группы А относятся лица, работающие с техногенными источниками излучения. Лица, находящиеся по условиям работы в сфере воздействия этих источников, относятся к персоналу группы Б.

Согласно пп.3.1.2, 3.1.4, 3.1.6 и 3.1.8 Норм в случае облучения персонала Группы А в нормальных условиях эксплуатации источников излучения нормируются дозиметрические величины, представленные в таблице 1.1. Значения пределов доз, равно как и значения допустимых уровней облучения персонала группы Б, равны 1/4 соответствующих значений для персонала группы А.

Таблица 1.1 – Нормируемые величины облучения персонала группы А в нормальных условиях эксплуатации источников излучения

Нормируемая величина	Значение предела, мЗв
Годовая эффективная доза	50
Годовая эффективная доза, усредненная за любые последовательные 5 лет	20
Эффективная доза, накопленная за период трудовой деятельности (50 лет)	1000
Годовая эквивалентная доза облучения хрусталика глаза	150
Годовая эквивалентная доза облучения кожи	500
Годовая эквивалентная доза облучения кистей и стоп	500
Месячная эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота женщин в возрасте до 45 лет	1

1.2 Основные дозиметрические величины, используемые для характеристики рентгеновского излучения

1.2.1 Флюенс ионизирующих частиц Φ , см^{-2} – отношение числа ионизирующих частиц dN , проникших в элементарную сферу, к площади центрального сечения dS этой сферы:

$$\Phi = dN / dS \quad (1.1)$$

1.2.2 Плотность потока частиц φ , $\text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ – отношение числа частиц dN , проникающих в элементарную сферу за интервал времени dt , к площади центрального сечения dS этой сферы и интервалу времени:

$$\varphi = d^2 N / (dS \cdot dt) = d\Phi / dt. \quad (1.2)$$

Данную величину используют для характеристики поля излучения в точке пространства (вещества).

1.2.3 Поглощенная доза ионизирующего излучения (ИИ) D , Гр – отношение средней энергии $d\varepsilon$, переданной ИИ веществу в элементарном объеме, к массе dm вещества в этом объеме:

$$D = d\varepsilon / dm. \quad (1.3)$$

Поглощенная доза измеряется в Дж/кг и называется грей (Гр).

1.2.4 Доза в органе или ткани D_T – средняя поглощенная доза в определенном органе или ткани человеческого тела:

$$D_T = \frac{1}{m_T} \int D dm, \quad (1.4)$$

где m_T - масса органа или ткани, а D – поглощенная доза в элементе массы dm .

1.2.5 Эквивалентная доза $H_{T,R}$ – средняя поглощенная доза в органе или ткани $D_{T,R}$, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент W_R для данного вида падающего на тело излучения:

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R} \quad (1.5)$$

При наличии различных видов излучения:

$$H_T = \sum_R H_{T,R} \quad (1.6)$$

Единицей эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

1.2.6 Керма K , Гр – отношение суммы начальных кинетических энергий $d\varepsilon_k$ всех заряженных частиц, образовавшихся под действием косвенно ионизирующего излучения в элементарном объеме вещества, к массе dm вещества в этом объеме:

$$K = d\varepsilon_k / dm \quad (1.7)$$

1.2.7 Мощность дозы \dot{D} (кермы \dot{K}) – доза (керма) излучения, создаваемая за единицу времени (секунду, минуту, час):

$$\dot{D} = dD / dt \quad (1.8)$$

$$\dot{K} = dK / dt \quad (1.9)$$

1.2.8 Амбиентный эквивалент дозы (амбиентная доза) $H^*(d)$, Зв – эквивалент дозы, который был бы создан в шаровом фантоме Международной комиссии по радиационным измерениям (МКРЕ) (шар диаметром 30 см из тканеэквивалентного материала плотностью 1 г/см^3) на глубине d , мм от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излучения (рисунок 1.1), идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленному и однородному.

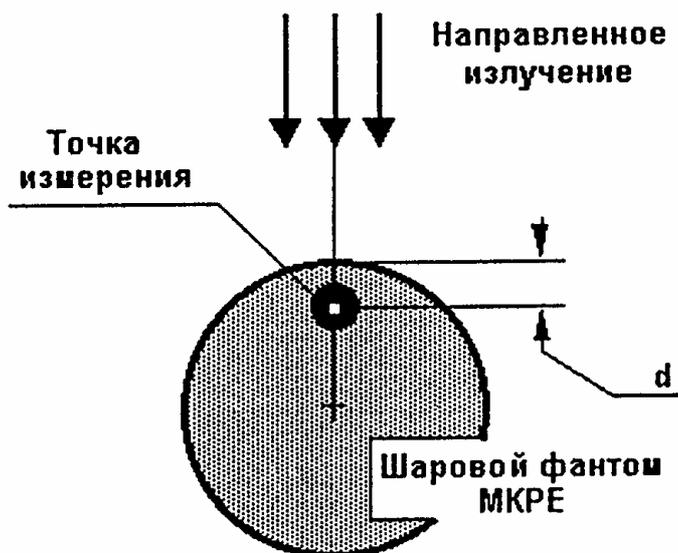


Рисунок 1.1- Схема определения амбиентной дозы

Данную величину используют в качестве операционной величины для характеристики поля излучения в точке, совпадающей с центром шарового фантома.

1.2.9 Индивидуальный эквивалент дозы $H_p(d)$, Зв – эквивалент дозы в мягкой биологической ткани, определяемый на глубине d , мм под рассматриваемой точкой на теле человека. Данную величину используют в качестве операционной для индивидуальной дозиметрии.

1.2.10 Доза эффективная (эквивалентная) годовая (ГЭД) – сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год. Единица годовой эффективной (эквивалентной) дозы - зиверт (Зв).

1.3 Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения – ДКС-1123

1.3.1 Назначение

Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения предназначен для:

- контроля радиационной обстановки при эксплуатации ядерно-энергетических, радиоизотопных и рентгеновских установок непрерывного, кратковременного и импульсного действия в научных исследованиях, медицине, промышленности и других областях;

- контроля состояния средств защиты гамма- и рентгеновских установок непрерывного, кратковременного и импульсного действия службами санитарного и проматомнадзора;

- обнаружения, локализации и дозиметрии источников рентгеновского и гамма-излучения службами контроля за перемещением ядерных и радиоактивных материалов;

- радиационного мониторинга окружающей среды, территорий и объектов;

-применения в условиях чрезвычайных и аварийных ситуаций.

Дозиметр измеряет:

-мощность амбиентной дозы (далее по тексту - мощность дозы) непрерывного рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне от 50 нЗв/ч до 10Зв/ч;

-мощность дозы кратковременно действующего излучения (одиночного или серии импульсов длительностью не менее 0,03 с) в диапазоне от 5 мкЗв/ч до 10 Зв/ч;

-среднюю мощность дозы импульсного излучения при мощности дозы в импульсе до 1,3 Зв/с и длительности импульса не менее 10 нс в диапазоне от 1 мкЗв/ч до 10 Зв/ч;

-амбиентную дозу (далее - дозу) рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне от 50 нЗв до 10 Зв;

Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения дозы и мощности дозы:

- $\pm 15\%$ - при работе в режимах измерения непрерывного и кратковременно действующего излучения;

- $\pm 30\%$ - при работе в режиме измерения импульсного излучения.

Диапазон энергий регистрируемого рентгеновского и гамма-излучения составляет от 15 кэВ до 10 МэВ.

1.3.2 Устройство и работа дозиметра

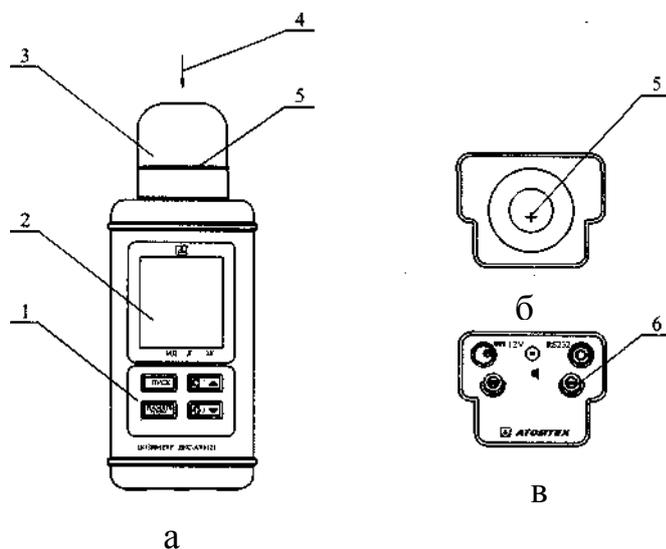
Принцип действия дозиметров основан на использовании высокочувствительного метода сцинтилляционной дозиметрии с применением пластмассового детектора и ФЭУ.

Измерение мощности дозы проводится путем измерения тока ФЭУ. Алгоритм работы обеспечивает непрерывность процесса измерения, вычисление «скользящих» средних значений и оперативное представление полученной информации на табло, статистическую обработку результатов измерений и оценку статистических флуктуаций в темпе поступления сигналов от детектора, быструю адаптацию к изменениям уровней радиации.

При работе в автономном режиме питание дозиметров осуществляется от встроенного блока аккумуляторов.

Конструкция дозиметров

Конструктивно каждый дозиметр выполнен как функционально законченное изделие. Общий вид дозиметров приведен на рисунке 1.2.



- 1 - панель управления; 2 - табло ЖКИ;
 3 - защитный колпачок; 4 - направление градуировки;
 5 - метки центра детектора; 6 - место пломбирования

Рисунок 1.2 - Общий вид дозиметров:
 а - со стороны передней панели;
 б - со стороны верхней торцевой крышки;
 в - со стороны нижней торцевой крышки

На передней панели дозиметра находится панель управления с мембранными кнопками (1) и табло ЖКИ (2).

На верхней торцевой крышке установлен съемный защитный колпачок (3) "0,025-10 MeV" (без фильтра) или "0,06-10 MeV" (с фильтром), который закрывает выступающую часть дозиметра. На каждом колпачке имеются две метки центра детектора (5): боковая метка в виде кольцевой риски и торцевая метка "+".

1.3.3 Подготовка дозиметра к использованию

Для включения дозиметра необходимо нажать кнопку ПУСК.

Выключение осуществляется быстрым трехкратным нажатием кнопки ПУСК. При этом на табло появляется сообщение "OFF", и через 1-2 с дозиметр выключается.

Отсутствие изображения на табло дозиметра, появление сообщения "bAt 00" или мигающей индикации "  " свидетельствуют о разряде БА ниже уровня, обеспечивающего работоспособность дозиметра.

Во время заряда БА дозиметр должен находиться во включенном состоянии. Наличие постоянной индикации "  " свидетельствует о процессе заряда БА, ее исчезновение - о завершении процесса заряда.

Сразу после включения дозиметр переходит в режим самоконтроля.

В случае успешного завершения самоконтроля дозиметр устанавливается в режим измерения мощности дозы (далее – режим "МД"), при

этом на табло появляется индикация "▼" против надписи МД на передней панели дозиметра. На табло индицируются значение мощности дозы в цифровом и аналоговом виде, единицы измерения, значение статистической погрешности в процентах.

При обнаружении ошибки в процессе тестирования дозиметр выдает прерывистый звуковой сигнал и на табло индикатора мигающее сообщение "Err xx".

Дозиметр имеет следующие режимы работы:

- измерение мощности дозы непрерывного излучения (режим "Т");
- измерение мощности дозы кратковременно действующего излучения длительностью не менее 0,03 с (режим "Tvar");
- измерение средней мощности дозы импульсного излучения (режим "⌋");
- измерение дозы (режим "Д");
- поиск локальных загрязнений и радиоактивных источников (режим поиска "Т!");

Перевод дозиметра в нужный режим и управление его работой осуществляется с помощью четырех кнопок, расположенных на передней панели дозиметра. Нажатие каждой из кнопок сопровождается коротким звуковым сигналом.

Примечание - Измерение мощности дозы рентгеновского и гамма-излучения проводится с установленным на дозиметре колпачком "0,025-10 MeV".

Для установки режима измерения необходимо перейти в **сервисный режим** (индикация ". 4."), для этого:

- нажать и удерживать кнопку **ПАМЯТЬ РЕЖИМ** до появления на табло индикации ". 2." (режим "Д");
- кратковременно нажать кнопку **ПАМЯТЬ РЕЖИМ** до появления на табло индикации ". 3." (режим "ЗК");
- вновь кратковременно нажать кнопку **ПАМЯТЬ РЕЖИМ** до появления на табло индикации ". 4. ".

Индикация ". 4." через 1 с исчезает, а в нижней части табло появляется индикация текущего режима измерения.

С помощью кратковременного нажатия кнопок "⏏/▲" или "☀/▼" выбрать нужный режим измерения ("Т", "Tvar", "⌋" или "Т!"). Нажать и удерживать до появления двойного звукового сигнала и индикации ".1." кнопку **ПАМЯТЬ РЕЖИМ**. Через 1 с индикация ".1." исчезает, и дозиметр начинает работать в установленном режиме.

Измерение мощности дозы непрерывного излучения (режим "Т")

Этот режим характеризуется наличием мигающей индикации "Т". В процессе измерения на табло выводятся средние значения мощности дозы, соответствующие им значения статистической погрешности от 99 до 1 % и единица измерения ("nSv/h" или "µSv/h", или "mSv/h", или "Sv/h"). Результат измерения выводится также на аналоговую шкалу.

Измерение мощности дозы при кратковременном воздействии излучения (режим "Tvar")

В режиме "Tvar" проводится измерение времени воздействия излучения, а также эффективного и максимального значения мощности дозы во время воздействия.

Дозиметр определяет время воздействия как промежуток времени с момента, когда мощность дозы превышает значение 3-5 мкЗв/ч. Время определяется с дискретностью 10 мс.

Эффективное значение мощности дозы рассчитывается из значения дозы, измеренной за время облучения, и измеренного времени воздействия.

При переходе в режим на табло появляется мигающая индикация "Tvar", кратковременно высвечивается номер первого поддиапазона измерения "1", а затем вместо него появляется индикация статистической погрешности измеряемого фона. Статистическая погрешность высвечивается до тех пор, пока не установлен номер второго или третьего поддиапазона.

В поддиапазоне "1" дозиметр индицирует фоновое значение мощности дозы, в поддиапазонах "2" и "3" - значение "0".

При появлении кратковременно действующего излучения на табло высвечивается измеренное значение мощности дозы, при этом индикация "Tvar" высвечивается постоянно. Во время воздействия излучения появляется индикация "∟".

При возникновении перегрузки на текущем поддиапазоне появляется индикация "!", что свидетельствует о необходимости перехода на более грубый поддиапазон "2", и повторения измерения. При повторном появлении индикации "!" необходимо перейти на поддиапазон "3".

Рабочие значения мощности дозы для поддиапазонов составляют:

- "1" - до 0,99 мЗв/ч;

- "2" - от 1,0 до 99 мЗв/ч;

- "3" - более 99 мЗв/ч.

Переход на поддиапазоны "2", "3", "1" осуществляется при кратковременном нажатии кнопки "□/▲".

Каждое новое измерение следует проводить только после нажатия кнопки ПУСК.

Показания мощности дозы индицируются на табло до нажатия кнопки ПУСК, при этом номер поддиапазона остается прежним.

1.3.4 Измерение дозы

В процессе измерения мощности дозы автоматически измеряется и доза. Поэтому при переходе в режим измерения дозы "Д" на табло индицируется результат этого измерения.

Перейти в режим "Д" можно только из режима "МД". Для этого необходимо нажать и удерживать кнопку ПАМЯТЬ РЕЖИМ до появления двойного звукового сигнала и индикации ".2.". Через 1 с индикация ".2."

исчезает, а на табло индицируются текущее значение дозы и указатель "▼" против надписи Д на панели дозиметра.

Индикация режимов непрерывного, кратковременно действующего и импульсного излучения такая же, как и при измерении мощности дозы.

При повторном длительном нажатии кнопки **ПАМЯТЬ РЕЖИМ** появляется индикация ". 1.", и дозиметр возвращается в режим "МД".

Контрольные вопросы

1 Назовите принципы, которыми следует руководствоваться при работе с источниками ионизирующего излучения.

2 Что характеризует коэффициент качества излучения?

3 Назовите основные нормативные документы, регламентирующие уровни облучения персонала и населения.

4 Какая категория лиц относится к персоналу группы А?

5 Назовите нормируемые величины облучения персонала группы А в нормальных условиях эксплуатации источников излучения.

6 Назовите основные дозиметрические величины, используемые для характеристики рентгеновского излучения.

7 Назовите область применения и назначения дозиметра ДКС-1123.

8 Назовите основные измеряемые дозиметром ДКС-1123 величины и пределы измерений.

9 Поясните принцип действия дозиметра ДКС-1123 и его конструктивные особенности.

Задание

-познакомиться с техническим описанием на дозиметр ДКС-1123;

-включить дозиметр и выполнить манипуляции, необходимые для начала измерений;

-измерить амбиентную дозу фонового излучения в помещении, где установлен рентгеновский аппарат;

-перевести дозиметр в импульсный режим работы. Включить рентгеновский аппарат, установить дозиметр на рабочем месте оператора: разместить измерительную головку на деке стола рядом с клавиатурой, выполнить снимок и зафиксировать показания дозиметра;

-установить фантом 200x200x200 мм³ Н₂О в зону облучения рентгеновского аппарата и повторить измерения;

-записать и объяснить полученные данные.

2 Радиационный контроль передвижных и индивидуальных средств защиты от рентгеновского излучения

Цель работы: познакомиться с методикой определения свинцового эквивалента защитных материалов и оценки кратности ослабления рентгеновского излучения защитными материалами в «широком» и «узком» пучках излучения с помощью дозиметра ДКС-1123.

2.1 Введение

Под свинцовым эквивалентом защитного материала понимают: заданную толщину свинца, обеспечивающую ослабление рентгеновского излучения защитным материалом.

Порядок определения свинцового эквивалента защитных материалов и оценки кратности ослабления рентгеновского излучения защитными материалами регламентируется требованиями МИ 2453-2000, ГОСТ Р 51532-99 (Средства защиты от рентгеновского излучения в медицинской диагностике. Часть 1. Определение ослабляющих свойств материалов), СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований». ГОСТ Р 51532-99 регламентирует использование для определения ослабляющих свойств материалов мощности воздушной кермы. Ввиду того, что приборов, измеряющих эту величину, очень мало (как правило, это дозиметры с ионизационными камерами), в данной лабораторной работе для определения ослабляющих свойств материалов будет использоваться мощность амбиентного эквивалента дозы (МЭД) - величина, которая измеряется широко используемыми на практике современными дозиметрами.

2.2 Объект контроля

Объектом контроля могут быть передвижные и индивидуальные средства защиты от рентгеновского излучения (ширмы, фартуки защитные, юбки защитные, передники, шапочки защитные, защитные пластины и т.п., а также образцы материалов, используемых для изготовления средств защиты).

2.3 Оборудование и средства измерений

Радиационный контроль защитных средств осуществляется на рентгеновском аппарате, обеспечивающем одно или более качества излучения, представленные в таблице 2.1; при работе рентгеновского аппарата отклонения МЭД от среднего значения не должны превышать 5 %.

Таблица 2.1 – Соответствие анодных напряжений полной фильтрации излучения

Анодное напряжение, кВ*	Полная фильтрация, мм Си
80	0,15
100	0,25
150	0,7
200	1,2
250	1,8
300	2,5
400	3,5
*При процентной пульсации не более 4	

Рабочее место оснащается набором контрольных свинцовых пластин марки С1 (толщины от 0,1 до 1 мм с шагом 0,1 мм) и комплектом диафрагм:

- свинцовая пластина размером 300×300×5 мм³ с центральным отверстием диаметром 100 мм;
- свинцовая пластина размером 300×300×5 мм³ с центральным отверстием диаметром 20 мм;
- свинцовая пластина размером 300×300×5 мм³ с центральным отверстием диаметром 10 мм.

В качестве заглушек, перекрывающих центральные отверстия в диафрагмах, применяют свинцовые пластины диаметрами 120, 40, 30 мм, толщиной 5 мм.

Определение кратности ослабления рентгеновского излучения и свинцового эквивалента защитных материалов осуществляется с помощью дозиметра ДКС-1123.

2.4 Требования безопасности

При проведении радиационного контроля должны выполняться требования норм радиационной безопасности НРБ-99.

Радиационный контроль защитных материалов должен осуществляться в специализированной лаборатории. Оператор, выполняющий радиационный контроль защитных материалов, при работе рентгеновского аппарата должен размещаться за стационарной защитой и иметь дозиметр индивидуального контроля.

2.5 Подготовка к проведению измерений

Установите высокое напряжение на трубке 100 кВ или другое в соответствии с таблицей 2.1, задайте номинальное значение анодного тока.

Радиационный контроль осуществляется в режиме рентгеноскопии. Если размеры объекта контроля превышают 500×500 мм², то измерения

проводятся в геометрии широкого пучка (рисунок 2.1), при размерах меньше $500 \times 500 \text{ мм}^2$, но не менее $100 \times 100 \text{ мм}^2$ измерения проводятся в геометрии узкого пучка (рисунок 2.2).

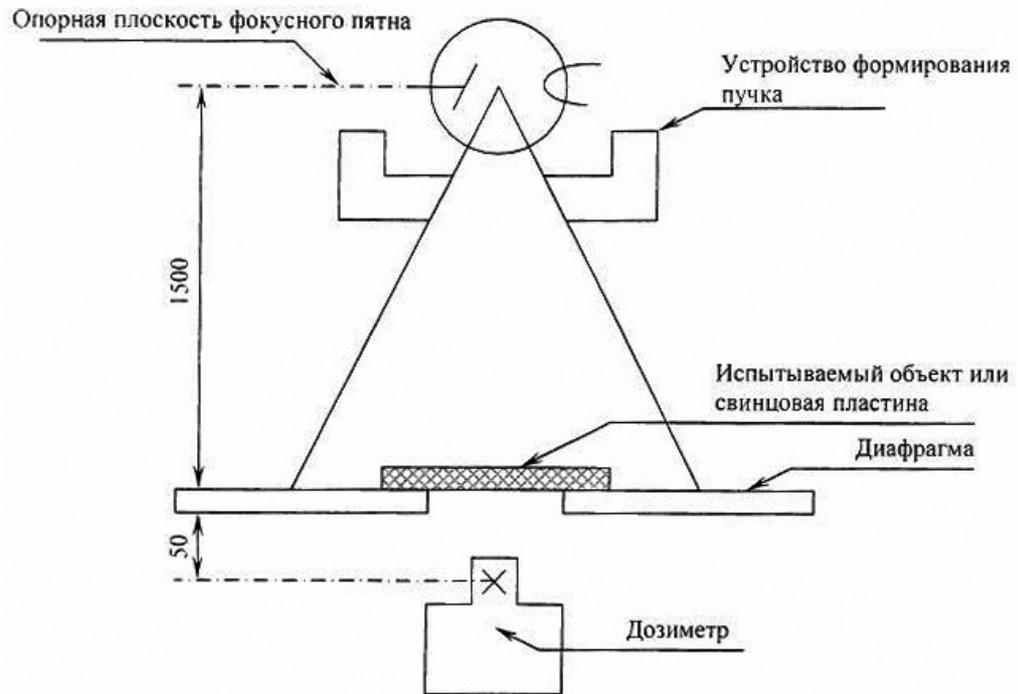


Рисунок 2.1 - Определение ослабляющих свойств материалов в широком пучке рентгеновского излучения

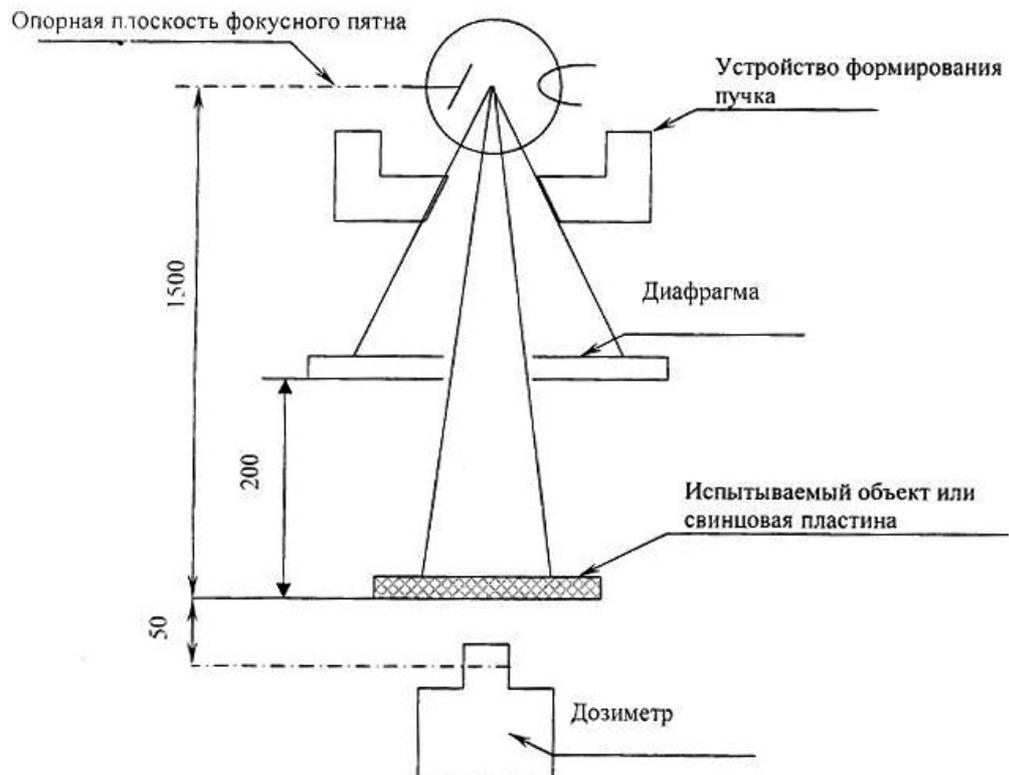


Рисунок 2.2 - Определение ослабляющих свойств материалов в узком пучке рентгеновского излучения

Для выполнения требований по стабильности работы рентгеновского аппарата необходимо:

-подготовить дозиметр к работе и жёстко зафиксировать его на расстоянии 150 см от анода так, чтобы ось чувствительного элемента дозиметра по возможности совпадала с осью пучка излучения, расстояние от дозиметра до пола или стены сзади него должно быть не менее 70 см;

-включить аппарат и измерить значение МЭД- N_i . Повторить эту операцию не менее 10 раз, выключая аппарат после каждого измерения;

-определить среднее значение МЭД:

$$H = \frac{\sum H_i}{n}; \quad (2.1)$$

-определить отклонение каждого i -го измерения от среднего значения:

$$\Delta H_i = H - H_i; \quad (2.2)$$

-максимальное значение ΔH_i должно отличаться от H не более чем на 5 %.

Проведите анализ однородности поля излучения в плоскости перпендикулярной оси пучка на расстоянии 150 см от анода. Для этого измерьте МЭД (не менее трех наблюдений в каждой точке) в точке, лежащей на предполагаемой оси пучка излучения, а затем смещая дозиметр на 5 см в четырех взаимно перпендикулярных направлениях. По полученным данным определите центр равномерного поля излучения.

Установите диафрагму на расстоянии 150 см от источника излучения так, чтобы центр диафрагмы совпадал с центром равномерного поля излучения (рисунок 2.1 для геометрии широкого пучка) либо на расстоянии 130 см (рисунок 2.2 для геометрии узкого пучка).

Жестко закрепите дозиметр ДКС-1123 за диафрагмой так, чтобы центр чувствительного объема находился в точке А, находящейся на оси пучка на расстоянии на 5 см дальше поверхности диафрагмы (геометрия широкого пучка), либо на расстоянии на 25 см дальше поверхности диафрагмы (геометрия узкого пучка). Подготовьте дозиметр к проведению измерений (см. лабораторную работу №1).

2.6 Порядок приведения измерений и обработки полученных результатов

2.6.1 Измерение фона

Закройте отверстие диафрагмы заглушкой. Включите рентгеновский аппарат в номинальном режиме и измерьте фоновое значение МЭД $H_{\phi i}$ (показания дозиметра фиксируются при минимальном значении коэффициента вариации). Выключите аппарат и повторите эту процедуру несколько раз.

За результат измерений H_ϕ принимают среднее арифметическое значение пяти-семи показаний дозиметра.

2.6.2 Определение зависимости кратности ослабления излучения от толщины свинцовых пластин

Снимите заглушку. Включите рентгеновский аппарат и произведите измерение МЭД не менее пяти раз.

За результат измерений МЭД в неослабленном пучке излучения H_0 принимают среднее арифметическое значение

$$H_0 = \frac{\Sigma(H_i - H_\phi)}{n}, \quad (2.3)$$

где H_i - результат i -го наблюдения.

Оцените статистическую неопределенность результата измерений МЭД по формуле

$$a_0 = \sqrt{\frac{\Sigma(H_0 - (H_i - H_\phi))^2}{n(n-1)}}, \quad (2.4)$$

где n - количество наблюдений.

Установите перед диафрагмой свинцовую пластину толщиной d .

Проведите измерения МЭД H_d для толщин свинца от 0,1 до 2 мм с шагом 0,1 мм до суммарной толщины свинца 1 мм и с шагом 0,2 мм при суммарной толщине более 1 мм. Оцените неопределенность результата измерений МЭД a_d для каждой толщины свинца.

Определите кратность ослабления излучения для свинца толщиной d

$$K_d = \frac{H_0}{H_d}. \quad (2.5)$$

Постройте график зависимости кратности ослабления от толщины свинца $K=f(d)$.

2.6.3 Определение кратности ослабления излучения контролируемым материалом

Выберите на объекте контроля не менее пяти точек, отстоящих друг от друга на расстоянии не более 100 мм при размерах материала более 500×500 мм² и не более 30 мм при размерах материала менее 500×500 мм².

Установите вместо свинцовых пластин контролируемый материал (так, чтобы точка контроля находилась в центре отверстия диафрагмы) и проведите измерения МЭД H_{mi} в каждой намеченной на материале i -ой контрольной точке.

За результат измерений следует принимать максимальное значение МЭД $H_{m-макс}$ по всем контрольным точкам. Оцените неопределенность результата измерений МЭД a_m .

Определите кратность ослабления излучения контролируемым материалом:

$$K_m = \frac{H_0}{H_{m, \max}} . \quad (2.6)$$

2.6.4 Определение свинцового эквивалента контролируемого материала

По полученному значению кратности ослабления K_m из графика $K=f(d)$ определите свинцовый эквивалент (толщину свинца, обеспечивающую данную кратность ослабления).

2.7 Оценка неопределенности результата радиационного контроля

Свинцовый эквивалент средств защиты определяется по результатам сравнения кратности ослабления излучения свинцом и защитными материалами в одинаковых условиях. Поэтому неопределенность свинцового эквивалента будет обуславливаться только статистическими неопределенностями при измерении МЭД со свинцом a_0 и с защитным материалом a_d .

Суммарная расширенная неопределенность (при коэффициенте расширения 2) будет определяться по формуле:

$$\Delta_d = 2\sqrt{a_o^2 + a_d^2 + a_m^2} . \quad (2.7)$$

Неопределенность кратности ослабления излучения определяется как статистическими неопределенностями a_o , a_d и a_m , так и неопределенностями систематического характера. При измерениях за защитой меняется энергетический спектр излучения, а также величина МЭД. Поэтому необходимо учитывать неопределенность результатов измерений, обусловленную энергетической зависимостью чувствительности дозиметра b_E ($b_E=15\%$ для 1σ) и нелинейность чувствительности дозиметра в используемом динамическом диапазоне b_L ($b_L=5\%$ для 1σ).

Расширенная неопределенность кратности ослабления определяются по формуле

$$\Delta_k = 2\sqrt{a_o^2 + a_d^2 + a_m^2 + b_E^2 + b_K^2} . \quad (2.8)$$

2.8 Интерпретация результатов измерений и критерии принятия решений

За свинцовый эквивалент защитного материала $d_{Pb, экв}$ принимается толщина свинца d_{Pb} , определённая в соответствии с п. 2.6.4 с учётом неопределённости результатов измерений:

$$d_{Pb, экв} = d_{Pb} - \Delta_d . \quad (2.9)$$

Радиационно-защитный материал считается выдержавшим испытания, если его свинцовый эквивалент не меньше значений, указанных в таблице 2.2,

где приведены свинцовые эквиваленты радиационно-защитных изделий (по данным СанПиН 2.6.1.1192-03).

Таблица 2.2 - Защитная эффективность индивидуальных средств защиты

Наименование	Минимальное значение свинцового эквивалента
1	2
Фартук защитный односторонний тяжёлый	0,35
Фартук защитный односторонний лёгкий	0,25
Фартук защитный двусторонний:	
- передняя поверхность	0,35
- вся остальная поверхность	0,25
Фартук защитный стоматологический	0,25
Накидка защитная (пелерина)	0,35
Воротник защитный:	
- тяжёлый	0,35
- лёгкий	0,25
Жилет защитный	
передняя поверхность:	
- тяжёлый	0,35
- лёгкий	0,25
остальная поверхность:	
- тяжёлый	0,25
- лёгкий	0,15
Юбка защитная:	
- тяжёлая	0,5
- лёгкая	0,35
Передник для защиты гонад:	
- тяжёлый	0,5
- лёгкий	0,35
Перчатки защитные:	
- тяжёлые	0,25
- лёгкие	0,15
Защитные пластины (в виде наборов различной формы)	1,0 – 0,5
Подгузник, пелёнка, пелёнка с отверстием	0,35

2.9 Оформление результатов измерений

По результатам радиационного контроля защитных материалов заполните протокол, форма которого приведена ниже.

Используемое оборудование и средства измерений:

Рентгеновский аппарат типа _____ № _____

Номинальное напряжение _____ кВ

Номинальный анодный ток _____ мА

Фильтр _____

Тканеэквивалентный фантом (при измерениях в рассеянном пучке излучения) _____ (тип, размеры)

Дозиметр типа _____ № _____

Свидетельство о поверке № _____ от _____

Таблица 2.3- Результаты радиационного контроля

Наименование образца	d_{Pb} , мм	Δ_d , %	$d_{Pb, экв}$, мм	Значение d_{Pb} , мм по ТУ

Контрольные вопросы

- 1 Поясните смысл понятия свинцовый эквивалент.
- 2 Что подразумевается под кратностью ослабления излучения?
- 3 Как зависит кратность ослабления от толщины свинца? Объясните характер полученной зависимости.
- 4 Как, зная кратность ослабления контролируемого материала, определить его свинцовый эквивалент?
- 5 Чем обусловлена неопределенность измеренного значения свинцового эквивалента?
- 6 Чем обусловлена неопределенность измеренного значения кратности ослабления излучения?

3 Радиационный контроль рентгенодиагностических и рентгенотерапевтических кабинетов

Цель работы: познакомиться с методикой дозиметрического контроля рентгеновских кабинетов, порядком и способами выполнения измерений, а также правилами оценки результатов контроля с помощью дозиметра ДКС-1123.

3.1 Введение

Радиационный контроль рентгеновских кабинетов осуществляется в обеспечение федеральных законов «О радиационной безопасности населения» и «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; норм радиационной безопасности НРБ-99 и санитарных правил обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99.

В работе представлены правила организации дозиметрического контроля рентгеновских кабинетов, порядок и способы выполнения измерений, а также правила оценки результата контроля.

3.2 Объект радиационного контроля

Объектом контроля являются рентгеновские кабинеты различного назначения, а также смежные с ними помещения и территории. Задачей радиационного контроля является контроль не превышения установленных нормативов. Контролируемой величиной служит мощность амбиентного эквивалента дозы (МЭД) рентгеновского излучения.

Нормируемой (НРБ-99) величиной облучения в нормальных условиях эксплуатации источника излучения является эффективная доза H_e , значения пределов которой приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Значения пределов эффективной дозы, H_e

Нормируемая величина	Персонал группы А	Персонал группы Б	Население
Годовая эффективная доза	20 мЗв*	5 мЗв	1 мЗв

Операционной величиной для контроля радиационной обстановки является мощность амбиентного эквивалента дозы H^* (10) - величина максимально приближенная к нормируемой величине в стандартных условиях облучения и измеряемая используемыми в соответствии с данной методикой средствами измерений.

3.3 Средства измерений и вспомогательное оборудование

В качестве средства измерения в работе используется дозиметр ДКС-1123. Роль вспомогательного оборудования играют тканеэквивалентные (водные) фантомы, имитирующие объект исследования, размещенный в поле облучения.

3.4 Условия и периодичность проведения радиационного контроля

Измерения мощности амбиентного эквивалента дозы на рабочих местах персонала, в помещениях и на территории, смежной с процедурной рентгеновского кабинета, проводятся при стандартных значениях анодного напряжения (см. таблицу 3.2), значении силы анодного тока не менее 2 мА и наличии фильтров, указанных в эксплуатационной документации на рентгеновский аппарат.

При этом все дозиметрические измерения осуществляются с тканеэквивалентными (водными) фантомами:

- в рентгенодиагностических кабинетах общего назначения, в рентгенотерапевтических кабинетах, а также при контроле палатных и других передвижных рентгеновских аппаратов - размерами 250 x 250 x 150 мм;

- в рентгенофлюорографических кабинетах - размерами 250 x 250 x 75 мм;

- в ангиографических кабинетах - размерами 250 x 250 x 225 мм;

- при контроле рентгеностоматологических аппаратов - диаметром 150 и высотой 200 мм;

- в кабинетах маммографии - штатными фантомами в комплекте с маммографическими рентгеновскими аппаратами (допускается использование в качестве фантома пакета из пластика объемом 200 мл, заполненного водой);

- в кабинетах компьютерной томографии и остеоденситометрии - штатными фантомами, имеющимися в комплекте с компьютерными томографами и остеоденситометрами.

Контроль мощности дозы излучения на рабочих местах персонала, в помещениях и на территории, смежных с процедурной рентгеновского кабинета, проводится при технической паспортизации рентгеновского кабинета или при изменении условий эксплуатации рентгеновского кабинета (изменение назначения смежных помещений, замена рентгеновской трубки, защитных средств и др.).

Таблица 3.2 - Стандартизированные значения рабочей нагрузки W и анодного напряжения рентгеновских аппаратов

Рентгеновская аппаратура	Рабочая нагрузка W, (мАмин)/нед.	Анодное напряжение, кВ
1 Рентгенофлюорографический аппарат с люминесцентным экраном и оптическим переносом изображения, пленочный и цифровой	1000	100
2 Рентгенофлюорографический малодозовый аппарат со сканирующей линейкой детекторов и цифровой обработкой изображения	2000	100
3 Рентгенофлюорографический малодозовый аппарат с УРИ, ПЗС-матрицей и цифровой обработкой изображения	50	100
4 Рентгенодиагностический аппарат с цифровой обработкой информации	1000	100
5 Рентгенодиагностический комплекс с полным набором штативов (1-е, 2-е и 3-е рабочие места)	1000	100
6 Рентгеновский аппарат для рентгеноскопии (1-е рабочее место - поворотный стол-штатив ПСШ)	1000	100
7 Рентгеновский аппарат для рентгенографии (2-е и 3-е рабочие места - стол снимков и стойка снимков)	1000	100
8 Ангиографический комплекс	400	100
9 Рентгеновский компьютерный томограф	400	125
10 Хирургический передвижной аппарат сУРИ	200	100
11 Палатный рентгеновский аппарат	200	90
12 Рентгеноурологический стол	400	90
13 Рентгеновский аппарат для литотрипсии	200	90
14 Маммографический рентгеновский аппарат	200	40
15 Рентгеновский аппарат для планирования лучевой терапии (симулятор)	200	100
16 Аппарат для близко дистанционной рентгенотерапии	5000	100
17 Аппарат для дальне дистанционной рентгенотерапии	12000	250
18 Остеоденситометр для всего тела	200	Номинальное
19 Остео денситометр для конечностей	100	70
20 Остео денситометр для всего тела и его частей с использованием широкого пучка излучения и двумерного цифрового детектора	50	Номинальное

Радиационный контроль на рабочих местах персонала, непосредственно около рентгенодиагностического аппарата проводится на участках размерами $60 \times 60 \text{ см}^2$ при вертикальном и горизонтальном положениях поворотного стола штатива в точках, расположенных на высоте, соответствующей:

- уровню головы - $160 + 20 \text{ см}$;
- уровню груди - $120 + 20 \text{ см}$;
- уровню нижней части живота, гонад - $80 + 20 \text{ см}$;
- уровню ног - $30 + 20 \text{ см}$.

Размер поля на приемнике изображения при проведении измерений необходимо установить с помощью диафрагмы равным $180 \times 180 \text{ мм}^2$.

При радиационном контроле в флюорографических кабинетах измерение мощности дозы проводят на расстоянии 20 см от поверхности кабины, флюорографической камеры и на расстоянии 60 см от кожуха рентгеновской трубки на высоте $30, 80, 120$ и 160 см от поверхности пола. Расстояние между точками измерений в горизонтальной плоскости должно быть не более 50 см .

При радиационном контроле в помещениях, где расположены хирургические, дентальные, маммографические и другие специализированные рентгеновские аппараты, измерения мощности дозы необходимо проводить на рабочих местах, т.е. на участках фактического нахождения персонала во время проведения рентгенологических процедур.

При проведении радиационного контроля в рентгенотерапевтических кабинетах и кабинетах компьютерной томографии измерения проводят только в помещениях и на территориях, смежных с процедурной.

В помещениях, смежных с процедурной рентгеновского кабинета, измерения мощности дозы проводят при реально используемом направлении прямого пучка рентгеновского излучения:

- в помещении, расположенном над процедурной, на высоте 80 см от пола в точках прямоугольной сетки с шагом $1-2 \text{ м}$;
- в помещении, расположенном под процедурной, на высоте 120 см от пола в точках прямоугольной сетки с шагом $1-2 \text{ м}$;
- в помещениях, смежных по горизонтали, вплотную к стенам на высоте 80 и 120 см по всей длине стены с шагом $1-2 \text{ м}$ (то же для наружной стороны стены процедурной).

Измерение мощности дозы проводится также на стыках защитных ограждений, у дверных проемов, смотровых окон и отверстий технологического назначения.

3.5 Процедура проведения радиационного контроля

Подготовьте дозиметр к работе. Установите фантом в том месте, где при диагностической процедуре находится зона облучения пациента.

Затем определите мощность дозы радиационного фона $H^*(10)$ при отключенном рентгеновском аппарате. Измеренные значения не должны

превышать значений, установленных для рабочих помещений - (0,10 - 0,20) мкЗв/ч.

В каждой точке контроля проведите не менее трех наблюдений МЭД $H^*(10)$ при различной ориентации блока детектирования используемого дозиметра.

Время работы рентгеновского аппарата при этом должно быть достаточным для проведения измерений используемым дозиметром. Для оценки полученных результатов используются максимальные значения МЭД $H^*(10)_{\text{макс}}$, полученные при наблюдениях.

3.6 Обработка результатов радиационного контроля

3.6.1 Оценка неопределенности результата измерений.

В данной работе неопределенность результата измерений оценивается для коэффициента расширения $K=2$.

Составляющие и суммарные неопределенности при измерениях используемым дозиметром приведены в таблице 3.3, где H - измеренное значение в мкЗв/ч (или мкЗв при измерениях в режиме дозы).

Таблица 3.3 - Характеристики дозиметра ДКС-1123

Дозиметр	Основная погрешность дозиметра	Энергетическая зависимость чувствительности, %	Угловая зависимость чувствительности, %	Суммарная относительная неопределенность, U , %
ДКС-1123	$\pm(15\pm 4/H)^*$	± 35	± 30	± 50

Статистическая неопределенность здесь не учитывается, поскольку за результат измерений принимается максимальное значение МЭД в каждой точке контроля.

3.6.2 Оценка результата измерений с учетом неопределенности $H^*(10)_u$ осуществляется по формуле

$$H^*(10)_u = [H^*(10)_{\text{макс}} - H^*(10)_{\text{фл}}] (1 + U/100) \quad (3.1)$$

3.6.3 Оцененные по формуле (3.1) значения МЭД приводятся к значениям стандартной рабочей нагрузки аппарата (таблица 3.2).

$$H^*(10)_n = H^*(10)_u \frac{W}{I_n \cdot 1800}, \quad (3.2)$$

где- $H^*(10)_n$ - значение МЭД, приведенное к стандартной рабочей нагрузке аппарата, мкЗв/ч;

W - рабочая нагрузка (мА·мин)/нед., (таблица 3.2);

1800 - время работы персонала группы А, мин/нед;

I_u - значение тока, установленное во время измерения, мА.

3.6.4 Для оценки результатов радиационного контроля на рабочих местах, находящихся непосредственно в процедурной рентгеновского кабинета, значения эффективной мощности дозы H_e рассчитывают, исходя из выражения:

$$H_e = 0,3 [H^*(10)_{n160} K_{160} + H^*(10)_{n120} K_{120} + H^*(10)_{n80} K_{80} + H^*(10)_{n30} K_{30}], \quad (3.3)$$

где 0,3 - коэффициент перехода от амбиентного эквивалента дозы к эффективной дозе (коэффициент перехода от амбиентного эквивалента дозы к эффективной дозе рассчитан для энергии 50 кэВ и в предположении изотропности поля излучения);

$H^*(10)_{n160}$, $H^*(10)_{n120}$, $H^*(10)_{n80}$, $H^*(10)_{n30}$ - значения МЭД, приведенные к рабочей нагрузке аппарата, исходя из измеренных значений на уровнях головы (160 см), груди (120 см), низа живота (80 см) и ног (30 см), соответственно, мкЗв/ч;

K_{160} , K_{120} , K_{80} , K_{30} - взвешивающие тканевые коэффициенты, полученные исходя из суммы значений тканевых коэффициентов W_T на уровнях головы, груди, низа живота и ног, отн. ед;

- K_{160} , K_{120} , K_{80} , K_{30} принимаются равными 0,15; 0,3; 0,5 и 0,05 соответственно.

3.6.5 Для оценки результатов радиационного контроля в помещениях и на территориях, смежных с процедурной, значения эффективной мощности дозы H_e рассчитывают, исходя из выражения:

$$H_e = 0,15 [H^*(10)_{n80} + H^*(10)_{n120}], \quad (3.4)$$

при измерениях в одной точке по высоте:

$$H_e = 0,3 H^*(10)_n. \quad (3.5)$$

3.7 Оформление результатов радиационного контроля

Объект радиационного контроля считается соответствующим нормативным требованиям, если значения МЭД, определенные по формулам (3.2-3.5) не превосходят допустимых значений, приведенных в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Допустимая МЭД и пределы дозы (ПД) рентгеновского излучения для помещений различного назначения

Виды помещений	Допустимая МЭД, мкЗв/ч	Предел дозы мЗв/год
1	2	3
Помещения постоянного пребывания персонала группы А (процедурная, комната управления, комната приготовления бария, фотолаборатория, кабинет врача)	13	20
Помещения смежные по вертикали и горизонтали с процедурной рентгеновского кабинета, имеющие постоянные рабочие места персонала группы Б	2,5	5
Помещения, смежные по вертикали и горизонтали с процедурной рентгеновского кабинета без постоянных рабочих мест (холл, коридор, гардероб, комната отдыха, лестничная площадка, уборная, кладовая)	10	5
Помещения эпизодического пребывания персонала группы Б (технический этаж, подвал, чердак)	40	5
Палаты стационара, смежные по вертикали и горизонтали с процедурной рентгеновского кабинета	1,3	1
Территория, прилегающая к наружным стенам процедурной рентгеновского кабинета	2,8	1
Жилые помещения, смежные с процедурной рентгеностоматологического кабинета	0,3	1

По результатам радиационного контроля лаборатории заполните протокол, форма которого приведена ниже.

Используемое оборудование и средства измерений:

Рентгеновский аппарат типа _____ № _____

Номинальное напряжение _____ кВ

Номинальный анодный ток _____ мА

Фильтр _____

Тканеэквивалентный фантом (при измерениях в рассеянном пучке излучения) _____ (тип, размеры)

Дозиметр типа _____ № _____

Свидетельство о поверке № _____ от _____

Таблица 3.5 - Результаты радиационного контроля

Назначение кабинета:			
Аппарат, №:			
Анодное напряжение	кВ	Собственный фильтр	А1
Дополнительный фильтр	мм Al(Cu)		
Измерения проводились с тканезквивалентным фантомом:			
дозиметром типа №	свидетельство о поверке №		от ___ г.
Чертеж кабинета (размещение оборудования)		Смежные с кабинетом помещения	
		Над кабинетом	
		Под кабинетом	
		За стеной А	
		За стеной Б	
		За стеной В	
		За стеной Г	
		За стеной Д	

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ (при рабочей нагрузке _____ мА·мин/нед.)

№	Наименование места измерения	Направление пучка излучения	I изм., мА	МЭД, мкЗв/ч				Примечание
				$H^*(10)_и$, мкЗв/ч	$H^*(10)_п$, мкЗв/ч	$E_{эфф}$, мкЗв/ч	Допустимая МЭД, мкЗв/ч	
Помещения, смежные с процедурной рентгеновского кабинета, и прилегающие территории								
1	Над рентгенкабинетом	вертик.						
2	Под рентгенкабинетом	вертик.						
3	За стеной А:	Стена	вертик.					
4		Окно						
5	Дверь	вертик.						
6	За стеной Б:	Стена	вертик.					
7		Окно						
8		Дверь						
9	За стеной В:	Стена	вертик.					
10		Окно						
11		Дверь						

12	За стеной Г:	Стена	вертик.						
13		Окно							
14		Дверь	вертик.						
15	За стеной Д:	Стена							
16		Окно							
17		Дверь							
18		Стена							
В ФЛГ-кабинете на расстоянии 200 мм от поверхности флюорографической кабины:									
	на высоте 100 мм	от пола							
	на высоте 900 мм	от пола							
	на высоте 1500 мм	от пола							
	Смотровое окно								
В ФЛГ-кабинете на расстоянии 700 мм от фокуса Ro -трубки:									
	на высоте 100 мм	от пола							
	на высоте 900 мм	от пола							
	на высоте 1500 мм	от пола							
В ФЛГ-кабинете на расстоянии 200 мм от поверхности флюорографической камеры:									
	на высоте 100 мм	от пола							
	на высоте 900 мм	от пола							
	на высоте 1500 мм	от пола							

№	Наименование места измерения	Направление пучка излучения	I изм., мА	МЭД, мкЗв/ч				Примечание
				H*(10) _п , мкЗв/ч	H*(10) _л , мкЗв/ч	Eэфф, мкЗв/ч	Допустимая МЭД, мкЗв/ч	
19	Над рентген-кабинетом	горизонт.						
20	Под рентген-кабинетом	горизонт.						
21	За стеной А:	Стена	горизонт.					
22		Окно						
23		Дверь	горизонт.					
24	За стеной Б:	Стена	горизонт.					
25		Окно	горизонт.					
26		Дверь						

27	За стеной В:	Стена	горизонт.						
28		Окно	горизонт.						
29		Дверь	горизонт.						
30	За стеной Г:	Стена	горизонт.						
31		Окно							
32		Дверь	горизонт.						
33	За стеной Д:	Стена							
34		Окно							
35		Дверь							
36		Стена							

В ФЛГ-кабинете на расстоянии 200 мм от поверхности флюорографической кабины:

	на высоте 100 мм	от пола							
	на высоте 900 мм	от пола							
	на высоте 1500 мм	от пола							
	Смотровое окно								

В ФЛГ-кабинете на расстоянии 700 мм от фокуса Ro -трубки :

	на высоте 100 мм	от пола							
	на высоте 900 мм	от пола							
	на высоте 1500 мм	от пола							

В ФЛГ-кабинете на расстоянии 200 мм от поверхности флюорографической камеры:

	на высоте 100 мм	от пола							
	на высоте 900 мм	от пола							
	на высоте 1500 мм	от пола							

№	Наименование места измерения	Направление пучка излучения	I изм., мА	МЭД, мкЗв/ч				Примечание
				H*(10) _и , мкЗв/ч	H*(10) _л , мкЗв/ч	Eэфф, мкЗв/ч	Допустимая МЭД, мкЗв/ч	

На рабочем месте у пульта управления аппаратом

37	На уровне головы	горизонт.						
38	На уровне груди	горизонт.						
39	На уровне таза	горизонт.						
40	На уровне ног	горизонт.						

41	На уровне головы	вертик.						
42	На уровне груди	вертик.						
43	На уровне таза	вертик.						
44	На уровне ног	вертик.						

Контрольные вопросы

1 Назовите контролируемую и нормируемую величины при дозиметрии рентгеновских кабинетов.

2 Дайте понятие эффективной дозы.

3 Почему радиационный контроль проводят в присутствии в поле облучения водного фантома?

4 Назовите точки, в которых проводят измерения при радиационном контроле во флюорографическом кабинете.

5 В каких пределах должны лежать измеренные значения мощности радиационного фона в лаборатории?

4 Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. Измерение радиационного выхода рентгеновской трубки

Цель работы: познакомиться с методикой определения эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях, основанной на измерении радиационного выхода рентгеновского излучателя.

4.1 Введение

Одной из важных предпосылок уменьшения лучевых нагрузок является организация системы контроля и учета доз медицинского облучения. Необходимость этого определяется требованиями Федерального закона «О радиационной безопасности населения» и Нормами радиационной безопасности НРБ-99.

При проведении профилактических рентгенологических исследований практически здоровых лиц установлен норматив годовой эффективной дозы облучения – 1 мЗв. При проведении диагностических исследований пределы доз не устанавливаются, однако придерживаются принципа – максимум диагностической информации при минимально возможных уровнях облучения.

4.2 Общие положения

Исходные данные для расчета эффективной дозы облучения пациентов должны включать: напряжение на аноде рентгеновской трубки в момент исследования; толщину и материал фильтра; фокусное расстояние и размеры поля облучения; радиационный выход рентгеновского излучателя и экспозицию.

Определение эффективной дозы облучения пациентов при рентгенологических исследованиях основано на использовании одного из двух инструментальных методов: измерении произведения дозы на площадь или измерении радиационного выхода рентгеновского излучателя.

Если рентгеновский аппарат не оборудован измерителем произведения дозы на площадь, определение эффективной дозы облучения осуществляют расчетным путем, используя измеренные значения радиационного выхода рентгеновского излучателя.

Под радиационным выходом рентгеновского излучателя понимают величину, равную мощности поглощенной (или экспозиционной) дозы в свободном воздухе на расстоянии 1 м от фокуса рентгеновской трубки на оси первичного пучка рентгеновского излучения при заданном значении анодного напряжения, приведенной к значению анодного тока 1 мА. Радиационный выход измеряется в мГр·м²/(мА·мин) или в мР·м²/(мА·с). Для перехода от одних единиц измерения радиационного выхода к другим используют соотношения:

$$1 \text{ мР} \cdot \text{м}^2 / (\text{мА} \cdot \text{с}) = 0,53 \text{ мГр} \cdot \text{м}^2 / (\text{мА} \cdot \text{мин}), \quad (4.1)$$

$$1 \text{ мГр} \cdot \text{м}^2 / (\text{мА} \cdot \text{мин}) = 1,89 \text{ мР} \cdot \text{м}^2 / (\text{мА} \cdot \text{с}).$$

Измерения проводятся при общей фильтрации излучения, эквивалентной 2 мм Al.

Значение эффективной дозы E (мкЗв) облучения пациента при проведении рентгенологического исследования определяется с помощью выражения

$$E = R \cdot i \cdot t \cdot K_e, \quad (4.2)$$

где R – радиационный выход рентгеновского излучателя, мР·м²/(мА·с);

i – ток рентгеновской трубки, мА;

t – время проведения исследования, с;

K_e – коэффициент перехода к эффективной дозе облучения, мкЗв/(мР·м²).

Средние значения некоторых дозовых коэффициентов K_e для рентгенодиагностических исследований приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Дозовые коэффициенты

Вид исследования	Проекция	Размер поля, см ²	Фокусное расстояние, см	Напряжение на трубке, кВ	K _e , мкЗв/(мР·м ²)
Легкие	ЗП	30x40	100	80-90	2,1
Легкие	ЗП	30x40	150	80-90	0,86
Легкие	ЗП	30x30	60	80	4,7
Флюорография легких	ЗП	35x35	100	80	1,9
Череп	ПЗ	24x30	100	60-70	0,44
Желудок	ЗП	24x30	60	90-100	3,4

Радиационный выход R для данного значения анодного напряжения U определяется с помощью линейной интерполяции с использованием двух измеренных величин радиационного выхода R_k и R_{k+1} для ближайших значений анодного напряжения U_k и U_{k+1} ($U_k < U < U_{k+1}$) с использованием выражения

$$R = R_k + (R_{k+1} - R_k) \cdot \frac{U - U_k}{U_{k+1} - U_k}. \quad (4.3)$$

Для сканирующих рентгенографических аппаратов (флюорографов) в качестве эквивалента радиационного выхода рентгеновского излучателя используется доза в свободном воздухе на расстоянии 1 м от фокуса рентгеновской трубки за одно сканирование при заданном значении анодного напряжения, приведенная к значению анодного тока 1 мА.

Измерения в этом случае проводятся путем сканирования датчика измерительного прибора, размещенного в центре поля облучения так, чтобы при сканировании облучалась вся чувствительная область датчика. При наличии нескольких скоростей сканирования измерения радиационного выхода проводят для каждой скорости сканирования. Радиационный выход рентгеновского излучателя сканирующего рентгенографического аппарата (флюорографа) R^c измеряется в мГр·м²/мА или в мР·м²/мА. Для перехода одних единиц к другим используют соотношения

$$1 \text{ мР} \cdot \text{м}^2 / \text{мА} = 0,0088 \text{ мГр} \cdot \text{м}^2 / \text{мА}, \quad (4.4)$$

$$1 \text{ мГр} \cdot \text{м}^2 / \text{мА} = 113,6 \text{ мР} \cdot \text{м}^2 / \text{мА}.$$

Эффективная доза пациента по результатам измерения радиационного выхода рентгеновского излучателя сканирующего рентгенографического аппарата (флюорографа) определяется с использованием соотношения

$$E = R^c \cdot I \cdot K_e, \text{ мкЗв} \quad (4.5)$$

где R^c - радиационный выход рентгеновского излучателя сканирующего рентгенографического аппарата (флюорографа), мР·м²/мА;

I - анодный ток рентгеновской трубки, мА;

K_e - дозовый коэффициент из МУК іб.1.1797-03, мкЗв/(мР·м²).

Значения радиационного выхода рентгеновского излучателя должны измеряться во всем диапазоне рабочих значений анодного напряжения рентгеновской трубки с шагом 10-20 кВ. При использовании нескольких различных фильтров эти измерения должны проводиться для каждого фильтра.

4.3 Проведение измерений для определения радиационного выхода рентгеновских излучателей медицинских рентгенодиагностических аппаратов

Для проведения измерений с целью определения радиационного выхода рентгеновских излучателей медицинских рентгенодиагностических аппаратов могут использоваться дозиметры рентгеновского излучения, внесенные в государственный реестр средств измерений Российской Федерации, пригодные для измерения мощности поглощенной (экспозиционной) дозы или поглощенной (экспозиционной) дозы рентгеновского излучения в диапазоне анодных напряжений рентгеновских излучателей от 30 до 150 кВ и допускающие возможность проведения измерений при мощности дозы до 10 Гр/ч.

Наиболее удобно проводить измерения с использованием рентгеновских дозиметров на основе проходных ионизационных камер полупроводниковых детекторов, либо универсальных приборов для контроля эксплуатационных параметров медицинских рентгеновских аппаратов. Возможно использование для этих целей термомлюминесцентных детекторов на основе фтористого лития, но в этом случае необходимо использовать достаточно большие экспозиции, обеспечивающие дозу облучения дозиметра не менее 1-5 мР (10-50 мкГр).

При проведении измерений датчик используемого дозиметрического прибора размещается на оси пучка рентгеновского излучения на расстоянии 1 м от фокуса рентгеновской трубки, а поле облучения устанавливается так, чтобы оно полностью охватывало датчик дозиметрического прибора. Если датчик прибора невозможно установить на расстоянии 1 м, его следует разместить как можно дальше от фокуса рентгеновской трубки и зафиксировать расстояние от фокуса трубки до эффективного центра датчика (центр проходной ионизационной камеры, центр кристалла сцинтилляционного детектора, центр полупроводникового детектора). При наличии стола снимков или поворотного стола-штатива удобно установить их в горизонтальное положение и разместить датчик прибора на их поверхности, а рентгеновский излучатель над ними.

Далее на рентгеновском аппарате устанавливаются требуемые параметры экспозиции, производится его включение, и фиксируются показания

дозиметрического прибора. При этом время экспозиции (количество электричества, мАс) выбирается так, чтобы статистическая погрешность измеренной величины не превышала 10%. Если время однократной экспозиции недостаточно (например, используются термолюминесцентные дозиметры), ее повторяют необходимое количество раз, фиксируя суммарное время экспозиции (суммарное количество электричества, мАс). Если при проведении измерений на аппарате установлена величина анодного тока трубки, необходимо измерять мощность дозы рентгеновского излучения при работе аппарата в заданном режиме, а если установлена величина количества электричества (мАс), необходимо измерять дозу рентгеновского излучения за экспозицию.

Результаты измерений оформляются в виде протокола измерений, в который заносятся измеренные значения дозы (мощности дозы), статистическая погрешность измерения, а также параметры экспозиции (анодное напряжение на трубке, анодный ток, полное время экспозиции, количество электричества, мАс, суммарная фильтрация рентгеновского излучателя) и данные рентгеновского аппарата и установленной в нем рентгеновской трубки. В протоколе также должны быть приведены данные об использовавшемся для проведения измерений дозиметрическом приборе.

5 Определение радиационного выхода рентгеновских излучателей по результатам проведенных измерений

Для получения радиационного выхода рентгеновского излучателя R_n по результатам проведенных измерений мощности поглощенной дозы D , мГр/ч при анодном токе рентгеновской трубки 1 мА на расстоянии 1 м от ее фокуса следует использовать выражение

$$R_n = \frac{D \cdot r^2}{60 \cdot I}, \frac{\text{мГр} \cdot \text{м}^2}{\text{мА} \cdot \text{мин}} \quad (4.6)$$

Для получения радиационного выхода рентгеновского излучателя R_s по результатам измерений мощности экспозиционной дозы X , мР/ч при анодном токе рентгеновской трубки I , мА на расстоянии 1 м от ее фокуса следует использовать выражение

$$R_s = \frac{X \cdot r^2}{3600 \cdot I}, \frac{\text{мР} \cdot \text{м}^2}{\text{мА} \cdot \text{с}} \quad (4.7)$$

Для получения радиационного выхода рентгеновского излучателя R_n по результатам проведенных измерений поглощенной дозы D , мГр при экспозиции

(количестве электричества) рентгеновской трубки J , мА·с на расстоянии r , м от ее фокуса следует использовать выражение

$$R_n = \frac{60 \cdot D \cdot r^2}{J}, \frac{\text{мГр} \cdot \text{м}^2}{\text{мА} \cdot \text{мин}}. \quad (4.8)$$

Для получения радиационного выхода рентгеновского излучателя R_s по результатам измерений экспозиционной дозы X , мР при экспозиции (количестве электричества) рентгеновской трубки I , мА·с на расстоянии r м от её фокуса следует использовать выражение

$$R_s = \frac{X \cdot r^2}{J}, \frac{\text{мР} \cdot \text{м}^2}{\text{мА} \cdot \text{с}}. \quad (4.9)$$

Для получения радиационного выхода рентгеновского излучателя сканирующего рентгенографического аппарата (флюорографа) R_n^c по результатам проведенных измерений поглощенной дозы D , мГр за одно сканирование при анодном токе рентгеновской трубки I , мА на расстоянии r , м от ее фокуса следует использовать выражение

$$R_n^c = \frac{D \cdot r^2}{I}, \frac{\text{мГр} \cdot \text{м}^2}{\text{мА}}. \quad (4.10)$$

Для получения радиационного выхода рентгеновского излучателя сканирующего рентгенографического аппарата (флюорографа) R_s^c по результатам проведенных измерений экспозиционной дозы X , мР за одно сканирование при анодном токе рентгеновской трубки I , мА на расстоянии r , м от ее фокуса следует использовать выражение

$$R_s^c = \frac{X \cdot r^2}{I}, \frac{\text{мР} \cdot \text{м}^2}{\text{мА}}. \quad (4.11)$$

Допускается определение величины радиационного выхода рентгеновского излучателя для промежуточных значений анодного напряжения на рентгеновской трубке с использованием графика, построенного по измеренным значениям радиационного выхода.

Контрольные вопросы

- 1 Укажите пределы доз при выполнении рентгенологических процедур.
- 2 Какие существуют методы контроля доз облучения пациентов при выполнении рентгенологических процедур?
- 3 Дайте определение радиационного выхода рентгеновского излучателя.

4 Как рассчитывается эффективная доза облучения пациентов при проведении рентгенологического исследования?

5 Как размещается дозиметр при измерении радиационного выхода?

6 Поясните, почему применение дозиметра ДКС-1123 для измерения радиационного выхода рентгеновских излучателей невозможно?

Задание

1 Используя приведенную в описании работы методику, измерьте радиационный выход излучателя флюорографического аппарата, установленного в лаборатории, с помощью термомлюминесцентного дозиметра ДТЛ-02.

2 Зная радиационный выход излучателя флюорографа, определите эффективную дозу облучения пациента при выполнении профилактической флюорограммы (напряжение на трубке – 80 кВ, экспозиция – 6 мА·с).

3 Пациенту провели рентгенографию грудной клетки в задне-передней проекции при напряжении на трубке 90 кВ. Размер поля облучения 30x40 см²; фокусное расстояние 150 см, фильтр 2 мм Al, экспозиция 25 мАс. Определите эффективную дозу облучения, если радиационный выход излучателя для напряжений 80 и 100 кВ составил 6.8 и 9.2 мР·м²/(мА·с) соответственно.

Список использованных источников

1 **Ставицкий, Р.В.** Эквивалентные дозы в органах и тканях человека при рентгенологических исследованиях: справочник [Текст] / Р.В. Ставицкий. - М.: Энергоатомиздат, 1989.- 312 с.

2 **Пиццуттиэлло, Р.** Введение в медицинскую рентгенографию [Текст] / Р. Пиццуттиэлло, Дж. Куллинан.- Нью-Йорк: Компания Истман Кодак, Отделение медицинской науки, 1993.- 222 с.

3 **Иванов, В.И.** Курс дозиметрии [Текст] /В.И. Иванов. - М.: Энергоатомиздат, 1988.- 420 с.

4 **Кудряшов, Ю.Б.** Радиационная биофизика (ионизирующие излучения) [Текст] / Ю.Б. Кудряшов; под ред. В.К. Мазурика, М.Ф. Ломанова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.- 448 с.

5 **Моисеев, А.А.** Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене [Текст] /А.А. Моисеев, В.И. Иванов. - М.: Энергоатомиздат, 1990.- 252 с.

6 Основы рентгенодиагностической техники [Текст]: учебное пособие / под ред. Н.Н. Блинова. - М.: Медицина, 2002.- 392 с.

7 Нормы радиационной безопасности (НРБ).- М., 1999.

8 Санитарные правила и нормативы: гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований (СанПиН 2.6.1.802-99).- М., 2000.