

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

# РАДИАЦИОННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ АППАРАТЫ И СИСТЕМЫ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов направления подготовки  
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»  
дневной формы обучения*

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета  
<http://e.biblio.bru.by/>



Могилев 2018

УДК 615.84  
ББК 53.6  
Р 15

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «21» июня 2018 г.,  
протокол № 12

Составитель канд. техн. наук, доц. А. П. Магилинский

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Методические рекомендации к практическим занятиям по курсу «Радиационные медицинские аппараты и системы» для студентов направления подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии».

Учебно-методическое издание

## РАДИАЦИОННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ АППАРАТЫ И СИСТЕМЫ

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Технический редактор	С. Н. Красовская
Компьютерная верстка	Е. С. Лустенкова

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 16 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 24.01.2014.  
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский  
университет», 2018



## Содержание

1 Изучение физических величин и их единиц в области радиационной безопасности.....	4
2 Изучение рентгеновских аппаратов и методики медицинских исследований.....	9
3 Изучение радиологических аппаратов и методики медицинских исследований.....	15
4 Изучение радиоизотопных приборов и методики медицинских исследований.....	21
5 Расчет защиты от рентгеновского излучения.....	27
6 Расчет защиты от гамма-излучения.....	32
Список литературы.....	36



# 1 Изучение физических величин и их единиц в области радиационной безопасности

**Цель работы:** изучить физические величины и их единицы в области радиационной безопасности.

## 1.1 Основные теоретические положения

### 1.1.1 Основные понятия, используемые в области радиационной безопасности.

Ионизирующее излучение – излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков.

Ионизирующее излучение, состоящее из заряженных частиц, например, электронов, протонов,  $\alpha$ -частиц, имеющих кинетическую энергию, достаточную для ионизации при столкновении, называется непосредственно ионизирующим излучением. Ионизирующее излучение, состоящее из незаряженных частиц, например нейтронов или фотонов, которые в свою очередь могут создавать непосредственно ионизирующее излучение и (или) вызывать ядерные превращения, называется косвенно ионизирующим излучением.

К фотонному ионизирующему излучению относятся: гамма-излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер или при аннигиляции частиц; тормозное излучение с непрерывным энергетическим спектром, возникающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц; характеристическое излучение с дискретным энергетическим спектром, возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома, и рентгеновское излучение, состоящее из тормозного и (или) характеристического излучений.

К корпускулярному излучению относятся  $\alpha$ -излучение, электронное, протонное, мезонное излучения.

Частицы корпускулярного ионизирующего излучения или фотоны принято называть ионизирующими частицами.

Ионизирующее излучение, состоящее из частиц различного вида или частиц и фотонов, называется смешанным ионизирующим излучением.

Различают моноэнергетическое и немонаэнергетическое ионизирующее излучение. Под моноэнергетическим понимается ионизирующее излучение, состоящее из фотонов одинаковой энергии или частиц одного вида с одинаковой кинетической энергией. Немонаэнергетическое излучение имеет фотоны разной энергии или частицы одного вида с разной кинетической энергией.

Принято различать первичное и вторичное ионизирующее излучение. Под первичным понимается ионизирующее излучение, которое в рассматриваемом процессе взаимодействия со средой является или понимается за исходное. Вторичное ионизирующее излучение возникает в результате взаимодействия первичного ионизирующего излучения с данной средой.

Объект, содержащий радиоактивный материал, или техническое устрой-



ство, испускающее или способное в определенных условиях испускать ионизирующее излучение, называют источником ионизирующего излучения.

Под радиоактивностью мы понимаем самопроизвольное превращение неустойчивого радионуклида в другой нуклид, сопровождающееся испусканием ионизирующего излучения.

Нуклид – это вид атомов одного элемента с данным числом протонов и нейтронов в ядре. Нуклид, обладающий радиоактивностью, называется радионуклидом.

Распределение ионизирующего излучения в рассматриваемой среде называется полем ионизирующего излучения. В зависимости от величины, характеризующей ионизирующее излучение, различают поле плотности потока ионизирующих частиц, мощности поглощенной дозы, мощности кермы и т. д. Ионизирующее излучение с одним выделенным направлением распространения называют мононаправленным.

### 1.1.2 Международная система единиц.

С 1 января 1982 г. ГОСТ 8.417–81 *Единицы физических величин* ввел в нашей стране в действие Международную систему единиц физических величин как обязательную.

Введением этого ГОСТ изымаются из обращения все основные широко использовавшиеся ранее внесистемные единицы активности и дозовых характеристик поля излучения. Среди них единица Кюри для активности радионуклида в источнике, рад для поглощенной дозы и кермы, бэр для эквивалентной дозы, рентген для экспозиционной дозы фотонного излучения, миллиграмм – эквивалент радия для нестандартной величины, гамма-эквивалента и производные от них единицы. Замена этих единиц единицами СИ осуществлена в январе 1990 г. При использовании таких единиц СИ, как беккерель, грей, зиверт и производных от них единиц для удобства рекомендовано рядом с единицами СИ в скобках приводить также значения величин во внесистемных единицах или их сочетаниях с другими единицами. Отмеченное правило не было распространено на единицу экспозиционной дозы и производных от нее единиц.

Для атомной науки и техники важную роль играет разрешение применять без ограничения срока внесистемную единицу энергии – электрон-вольт (эВ) и ее десятичные кратные единицы. Эти единицы рекомендуется применять для энергии отдельных ионизирующих частиц  $E$ . Для испущенной, переданной или поглощенной суммарной энергии ионизирующих частиц  $W$  рекомендуется единица СИ джоуль и ее десятичные кратные и дольные единиц. Выбор десятичной кратной или дольной единицы (таблица 1.1) диктуется, прежде всего, удобством ее применения.

Таблица 1.1 – Множители и приставка для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	Множитель	Приставка	Обозначение приставки
$10^{18}$	экса	Э	$10^{-1}$	деци	д
$10^{15}$	пета	П	$10^{-2}$	санتي	с
$10^{12}$	тера	Т	$10^{-3}$	милли	м
$10^9$	гига	Г	$10^{-6}$	микро	мк
$10^6$	мега	М	$10^{-9}$	нано	н
$10^3$	кило	к	$10^{-12}$	пико	п
$10^2$	гекто	г	$10^{-15}$	фемто	ф
$10^1$	дека	да	$10^{-18}$	атто	а

Из многообразия кратных и дольных единиц, которые могут быть образованы при помощи приставок, выбирают единицу, приводящую к числовым значениям, приемлемым на практике. Кратные и дольные обычно выбирают таким образом, чтобы числовые значения величины находились в диапазоне от 0,1 до 1000. Соотношения между единицами СИ и внесистемными единицами приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Соотношения между единицами СИ и внесистемными единицами

Величина и ее обозначение	Названия и обозначения единиц		Связь с единицей СИ
	Единица СИ	Внесистемная единица	
Активность $A$	Беккерель (Бк)	Кюри (Ки)	1 Ки = $3,700 \cdot 10^{10}$ Бк
Плотность потока энергии частиц $I$	[Дж/(м <sup>2</sup> ·с)]	[эрг/(см <sup>2</sup> ·с)] или [МэВ/(см <sup>2</sup> ·с)]	1 эрг/(см <sup>2</sup> ·с) = $1 \cdot 10^{-3}$ Дж/(м <sup>2</sup> ·с) 1 Дж/(м <sup>2</sup> ·с) = $1 \cdot 10^{-3}$ Вт/м <sup>2</sup> 1 МэВ/(см <sup>2</sup> ·с) = $1,602 \cdot 10^{-9}$ Дж/(м <sup>2</sup> ·с) = $1,602 \cdot 10^{-9}$ Вт/м <sup>2</sup>
Поглощенная доза $D$ , керма $K$	Грей (Гр)	Рад (рад)	1 рад = 0,01 Гр
Мощность поглощенной дозы $D$ и кермы	Гр/с	Рад/с	1 рад/с = 0,01 Гр/с
Эквивалентная доза $H$	Зиверт (Зв)	Бэр (бэр)	1 бэр = 0,013 в
Мощность эквивалентной дозы $H$	Зв/с	Бэр/с	1 бэр/с = 0,013 в/с
Экспозиционная доза $X$	Кл/кг	Рентген (р)	1 р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
Мощность экспозиционной дозы $X$	А/кг	р/с	1 р/с = $2,58 \cdot 10^{-4}$ А/кг
Концентрация (объемная активность) радионуклида в атмосферном воздухе или воде	Бк/м <sup>3</sup> , Бк/л	Ки/л	1 Ки/л = $3,700 \cdot 10^{13}$ Бк/м <sup>3</sup> 1 Ки/л = $3,700 \cdot 10^{10}$ Бк/л
Энергия ионизирующей частицы $E_c$	Дж	Электрон-вольт (эВ), мегаэлектрон-вольт (МэВ)	1 эВ = $1,602 \cdot 10^{-19}$ Дж, 1 МэВ = $1,602 \cdot 10^{-13}$ Дж



### 1.1.3 Активность радионуклида.

Активность радионуклида в источнике (образце)  $A$  – отношение числа  $dN_o$  спонтанных (самопроизвольных) ядерных превращений, происходящих в источнике (образце) за интервал  $dt$ , к этому интервалу:

$$A = dN_o / dt. \quad (1.1)$$

Самопроизвольное ядерное превращение называют радиоактивным распадом.

Единица активности радионуклида – беккерель (Бк). Беккерель равен активности радионуклида в источнике (образце), в котором за время 1 с происходит одно спонтанное ядерное превращение. Внесистемная единица активности – кюри (Ки), кюри – активность радионуклида в источнике (образце), в котором за время 1 с происходит  $3,700 \cdot 10^{10}$  спонтанных превращений. Отношение активности радионуклида в источнике к массе, объему (для объемных источников) или к длине (для линейных источников) источника называется удельной объемной поверхностной или линейной активностью источника соответственно.

Выбор единиц этих величин определяется конкретной задачей. Например, допустимую концентрацию радионуклида (объемную активность) в воде удобнее выражать в беккерелях на литр (Бк/л), а в воздухе – в беккерелях на кубический метр (Бк/м<sup>3</sup>), т. к. суточное потребление воды человеком определяется обычно в литрах, а воздуха – в кубических метрах.

Распад радиоактивных атомов сопровождается испусканием корпускулярных частиц ( $\alpha$ ,  $\beta^+$ ,  $\beta^-$  – частицы, конверсионные электроны) и (или) фотонов. При этом число ядерных превращений далеко не всегда совпадает с числом испускаемых корпускулярных частиц и еще реже – с числом испускаемых фотонов. Активность характеризует лишь число ядерных превращений. Поэтому термины  $\alpha$  или  $\beta$ , или  $\gamma$ -активность не допустимы.

В задачах радиационной безопасности при хроническом облучении человека в малых дозах (в дозах, не превышающих пяти предельно допустимых годовых доз при облучении всего тела человека) основной величиной для оценки биологического излучения любого состава является эквивалентная доза.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения  $H$  – произведение поглощенной дозы  $D$  на средний коэффициент качества излучения  $k$  в данном объеме биологической ткани стандартного состава:

$$H = k \cdot D. \quad (1.2)$$

Единица эквивалентной дозы в СИ – зиверт (Зв).

Зиверт равен эквивалентной дозе, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани стандартного состава на средний коэффициент качества равно 1 Дж/кг. Иными словами, зиверт – единица эквивалентной дозы любого вида излучения в любой ткани, которое создает такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Гр образцового рентгеновского или  $\gamma$ -излучения. В качестве образцового обычно принимают рентгеновское излучение с граничной энергией 200 кэВ. Внесистемная единица эквивалентной дозы – бэр



(биологический коэффициент рада). Бэр равен эквивалентной дозе, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани стандартного состава на средний коэффициент качества равно 100 эрг/ г, или бэр – единица эквивалентной дозы любого вида излучения в биологической ткани, которое создает такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 рад образцового рентгеновского или  $\gamma$ -излучения. Таким образом, 1 бэр = 0,01 Зв.

Для случаев неравномерного облучения равных органов или тканей тела человека введено понятие эффективной эквивалентной дозы  $H_E$ . Эффективная эквивалентная доза при неравномерном по органам и тканям облучении равна такой эквивалентной дозе при равномерном облучении всего организма, при которой риск будет таким же, как и при данном неравномерном облучении. Единицы эффективной эквивалентной дозы совпадают с единицами эквивалентной дозы. Эквивалентная доза или эффективная эквивалентная доза характеризует меру ожидаемого эффекта облучения для одного индивидуума. Эти величины являются индивидуальными дозами. На практике возникает также необходимость оценивать меру ожидаемого эффекта при облучении больших групп людей. Для этого используют коллективную эквивалентную дозу. Единица коллективной дозы в СИ человеко-зиверт (чел.-Зв), внесистемная единица человека-бэр (чел.-бэр).

Мощность поглощенной дозы  $D$  (мощность кермы  $K$ , мощность экспозиционной дозы  $X$ , мощность эквивалентной дозы  $H$ , мощность эффективной дозы  $H_E$ , мощность коллективной эквивалентной дозы  $S$ ) – отношение приращения поглощенной дозы  $dD$  (кермы  $dK$ , экспозиционной дозы  $dX$ , эквивалентной дозы  $dH$ , эффективной эквивалентной дозы  $dH_E$ , коллективной дозы  $dS$ ) за интервал времени  $dt$  к этому интервалу:

$$D = dD / dt \quad (K = dK / dt; X = dX / dt; H = dH / dt; H_E = dH_E / dt; S = dS / dt).$$

Величины  $D, K, X, H, H_E, S$  могут быть как постоянными, так и изменяться по некоторому закону их единицы – частные от деления единиц поглощенной дозы (кермы, экспозиционной дозы, эквивалентной дозы, эффективной эквивалентной дозы, коллективной дозы) или их кратных или дольных единиц на соответствующую единицу времени.

## 1.2 Порядок выполнения работы

Изучить физические величины и их единицы в области радиационной безопасности.

### Контрольные вопросы

- 1 Что такое активность радионуклида?
- 2 Назовите дозы и мощности доз.
- 3 Что такое фотонное и корпускулярное излучения?



## 2 Изучение рентгеновских аппаратов и методики медицинских исследований

**Цель работы:** изучить основные рентгеновские аппараты, используемые в медицине, а также методики медицинских исследований.

### 2.1 Основные теоретические сведения

Рентгеновские аппараты (РА) – совокупность оборудования для получения и использования рентгеновского излучения. В зависимости от назначения РА делят на медицинские и технические.

Рентгеновские аппараты состоят из одного или нескольких рентгеновских излучателей (рентгеновских трубок); питающего устройства, обеспечивающего электрической энергией рентгеновский излучатель; устройства для преобразования рентгеновского излучения, прошедшего через исследуемый объект, в видимое изображение, доступное для наблюдения, анализа или фиксации (экран, рентгеновская кассета с рентгенографической пленкой, усилитель рентгеновского изображения, телевизионное видеоконтрольное устройство, видеомагнитофон, фотокамеры, кинокамеры и др.); штативных устройств, служащих для взаимной ориентации и перемещения излучателя, объекта исследования и приемника излучения; систем защиты и управления рентгеновским аппаратом. Для формирования потока излучения применяют диафрагмы, тубусы, фильтры, отсеивающие растры, формирующие излучение в пространстве коллиматоры; автоматические рентгеноэкспонетры и стабилизаторы яркости.

Медицинские рентгеновские аппараты делятся на рентгенодиагностические и рентгенотерапевтические.

Рентгенодиагностические аппараты в зависимости от конструкции и условий эксплуатации разделяют на стационарные, передвижные и переносные. Стационарные находятся в отделении и постоянно используются на одном месте, передвижные могут находиться в кузове автомобиля или вагоне поезда, а переносные могут быть перемещены одним или несколькими людьми.

К передвижным рентгеновским аппаратам предъявляется ряд специальных требований, вытекающих из неблагоприятных и сложных условий транспортировки, климатических условий и необходимости частого монтажа и демонтажа аппаратуры. В частности, укладочные ящики должны быть достаточно герметичными, чтобы защищать аппаратуру от воздействия пыли и влаги. Отдельные части РА должны быть надежно закреплены, чтобы обеспечить возможность транспортировки РА на поддрессоренном (обычно автомобильном) транспорте по шоссе и грунтовыми дорогами без повреждения частей РА. Колебания температуры окружающего воздуха в пределах от плюс 40 до минус 40° не должны влиять на качество работы РА при хранении и транспортировке их в этих условиях. Монтаж и демонтаж РА должны осуществляться силами обслуживающего персонала в течение получаса без применения специальных инструментов.



Переносные рентгеновские аппараты предназначены для производства простейших видов рентгенологических исследований в условиях скорой и неотложной помощи, а также помощи на дому. Они малогабаритны, легки, уместаются в двух небольших чемоданах.

*Мобильный рентгеновский аппарат CARMEX 7F* – мобильный операционный рентгеновский аппарат с неподвижным анодом, предназначенный для радиографических исследований.

Аппарат CARMEX комплектуется электронно-оптическими преобразователями 7, 9 или 12 дюймов с учетом специфики проводимых исследований. Современная рентгентелевизионная цепь, используемая в аппарате, гарантирует качественные, высококонтрастные снимки с низким уровнем помех (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Мобильный рентгеновский аппарат CARMEX 7F

Основные характеристики:

- высокочастотный генератор с микропроцессорным управлением;
- наличие следующих режимов работы: непрерывная рентгеноскопия; импульсная рентгеноскопия; HCF рентгеноскопия; рентгенография; автоматический контроль дозы;
- дистанционно управляемый коллиматор для рентгенографии;
- рентгеновская трубка с фиксированным анодом;
- фокус 0,6...1,5 мм;
- рентгеновский электронно-оптический преобразователь и замкнутая телевизионная система;
- усилитель рентгеновского изображения с двумя полями увеличения 7"/ 5" (17/15 см);
- CCD камера 625 линий;
- 19" монитор (LCD).

Области применения: хирургия, травматология, ортопедия, нейрохирургия, эндоскопия, урология.

*Цифровой рентгеновский аппарат CLINOMAT* на два рабочих места – стационарная система, предназначенная для выполнения рентгенографических исследований и линейной томографии (рисунок 2.2). Подходит для отделений ортопедии, травматологии, рентгенографических кабинетов крупных многопрофильных медицинских учреждений.

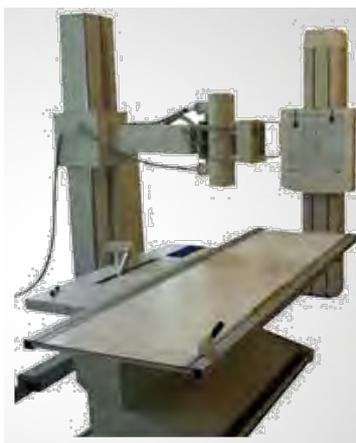


Рисунок 2.2 – Цифровой рентгеновский аппарат CLINOMAT на два рабочих места

#### Основные характеристики аппарата CLINOMAT:

- автоматическое позиционирование и распознавание размера кассеты;
- автоматическая регулировка экспозиции;
- функция автотрекинга (фокус аппарата следует за движением кассетоприемника);
- удобный пользовательский интерфейс для управления техникой съемки;
- широкий набор анатомических программ.

#### Комплектация:

- стол для рентгеновских снимков с фиксированной высотой (модель ВТ) или с регулируемой высотой (модель ВТЕ);
- колонна крепления рентгеновской трубки STATIX, обеспечивающая вращение трубки в двух плоскостях;
- стойка снимков BS45 для выполнения исследований легких, черепа и скелета при вертикальном положении пациента, что обеспечивает гибкость размещения всего рентгеновского комплекса;
- многофокусные рентгеновские излучатели для использования с высокочастотными генераторами мощностью до 65 кВт;
- высокочастотный генератор с микропроцессорным управлением и широким набором программ органоавтоматики.

Короткое время нарастания и спада обеспечивает точное время включения и высокое контрастное разрешение. Эргономичный пульт управления с ЖК-дисплеем и удобным меню позволяет легко задавать необходимые установки и отслеживать состояние генератора.

Области применения аппарата CLINOMAT: исследования грудной клетки, позвоночника, костей, неврологические исследования, томография, зонография.

*Телеуправляемый рентгеновский аппарат CLINODIGIT* – рентгеновская система универсального применения, объединяющая в себе возможности традиционных рентгеновских аппаратов на три рабочих места и позволяющая осуществлять съемку во всех проекциях на одном столе одной трубкой. (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Телеуправляемый рентгеновский аппарат CLINODIGIT

Основные характеристики:

- микропроцессорное управление, программа самотестирования;
- возможность регулировки высоты и угла поворота стола;
- пульт управления генератором и цифровой системой;
- выдвигающаяся решетка;
- автоматическое экрано-снимочное устройство с цифровым управлением;
- система получения изображения: аналоговая, аналогово-цифровая или полностью цифровая;
- диаметр ЭОПа 9"/12"/16";
- мощность высокочастотного генератора 50, 65, 80 кВт;
- трубки с различными характеристиками по теплоемкости;
- лифт ЭОПа при рентгеноскопии, что позволяет получить минимальное расстояние ЭОП;
- дека стола для уменьшения геометрических искажений исследуемых органов;
- разнообразные крепления для выполнения педиатрических, гинекологических и урологических исследований.

Области применения: гастроэнтерология, травматология, исследование скелета, грудной клетки и легких, педиатрия, урология.

*Палатный радиографический рентген-аппарат MATRIX* – это мобильный рентгеновский аппарат для работы вне рентгенкабинета с нетранспортабельными пациентами всех возрастных групп (рисунок 2.4).

В зависимости от типа штатива аппараты делятся на две группы: MATRIX и MATRIX В. Аппараты серии MATRIX В имеют те же самые характеристики, что и аппараты серии MATRIX, но отличаются более простой, облегченной механикой.

Комплектация аппаратов:

- мобильный штатив;
- станина с боковым вращением трубки, которое обеспечивает удобное расположение возле кровати больного;
- моноблок;
- трубки с фиксированным или вращающимся анодом высокой теплоемкости;
- высокочастотный генератор.



Рисунок 2.4 – Палатный радиографический рентген-аппарат MATRIX

Аппараты MATRIX имеют различные модификации в зависимости от мощности генератора. Цифра в наименовании аппарата отражает значение мощности в кВт.

Характеристики аппаратов MATRIX:

- передвижная рентгеновская установка с высокочастотным генератором 40 кГц;
- рентгеновская трубка с вращающимся анодом, фокус 0,3...0,6 мм;
- боковое вращение штанги крепления трубы  $\pm 90^\circ$ ;
- цифровая русскоязычная консоль «touch screen»;
- анатомические программы – 760 шт.

*Рентгеновский аппарат CLINOMAT TIETON.* Данный тип рентгеновского оборудования предназначен для выполнения всех традиционных флюорографических исследований.

Аппарат CLINOMAT TIETON имеет систему автоматической центрации цифрового детектора относительно рентгеновского излучателя, что делает работу на аппарате простой и быстрой, расстояние между колонной и полем детектора составляет 180 мм.

Высокая частота преобразования генератора PIXEL HF (100 кГц) гарантирует точность установок радиологических параметров, низкий уровень пульсаций и короткое время перехода от рентгенографии к рентгеноскопии (менее 1 с). Генератор оснащен системой самодиагностики в реальном времени, осуществляющей постоянный мониторинг состояния всех компонентов, включая рентгеновский излучатель (перегрузка трубки, состояние нити накала, вращение анода и т. д.).

Предусмотрена двухуровневая установка рентгеновской дозы при проведении непрерывной, импульсной рентгеноскопии и традиционной рентгенографии.

DIGI-AEC – система цифрового автоматического экспонирования, позволяющая оптимизировать рентгенографические параметры по данным предварительной рентгеноскопии. Высокоскоростной стартер, увеличивающий скорость вращения анода до 9000 об/мин, повышает мощность трубки примерно в 2 раза.

Пульт управления оснащен ЖК-дисплеем большого формата, на который

выводятся параметры установок, программы, информация о безопасности. Более шестисот анатомических программ позволяют оператору автоматизировать выбор параметров при обследовании различных отделов (рисунок 2.5).

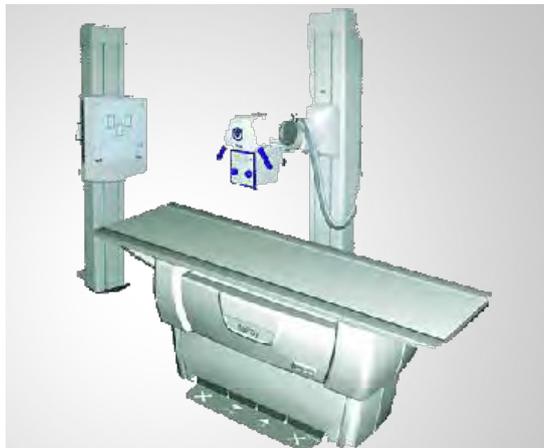


Рисунок 2.5 – Рентгеновский аппарат CLINOMAT TIETON

Содержит обширную библиотеку рентгеновских трубок (свыше 25 рентгеновских излучателей различных производителей), позволяя максимально гибко реагировать на конкретные потребности медицинского учреждения.

## **2.2 Порядок выполнения работы**

2.2.1 Изучить основные рентгеновские аппараты, используемые в медицине, а также методики медицинских исследований.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Из каких конструктивных элементов состоят рентгеновские аппараты?
- 2 Какие типы делят рентгенодиагностические аппараты в зависимости от конструкции и условий эксплуатации ?
- 3 Какие основные рентгеновские аппараты, используемые в медицине, Вы знаете?

## **3 Изучение радиологических аппаратов и методики медицинских исследований**

**Цель работы:** изучить основные радиологические аппараты, используемые в медицине, а также методики медицинских исследований.

### **3.1 Основные теоретические сведения**

Все излучения, используемые в медицинской радиологии, делят на две большие группы: *неионизирующие* и *ионизирующие*. Как показывает само наименование, первые в отличие от вторых при взаимодействии со средой не вызывают ионизации атомов, т. е. их распада на противоположно заряженные частицы – ионы.

К числу *неионизирующих излучений* принадлежат *тепловое (инфракрасное (ИК))* излучение и *резонансное*, возникающее в объекте (тело человека), помещенном в стабильное магнитное поле, под действием высокочастотных электромагнитных импульсов. Кроме того, к неионизирующим излучениям условно относят *ультразвуковые волны*, представляющие собой упругие колебания среды.

*Инфракрасное излучение* испускают все тела, температура которых выше абсолютного нуля. Интенсивным источником такого излучения являются ткани человеческого тела. Как известно, инфракрасные волны относятся к электромагнитным излучениям. По длине они занимают промежуточное положение между видимым светом и радиоволнами. Диапазон ИК-лучей – от 0,76 до 1000 мкм. Интенсивность ИК-излучения пропорциональна 4-й степени температуры тела, т. е. возрастание температуры тела в 2 раза приведет к увеличению интенсивности ИК-излучения в 16 раз. Максимальное излучение тела человека лежит в области длинноволнового ИК-излучения и составляет в среднем 9,6 мкм. Энергия ИК-лучей меньше, чем световых, поэтому они не действуют на фотоматериалы.

*Ультразвук* представляет собой волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц упругой среды. В зависимости от частоты колебаний звуковые волны делят на инфразвук – до 20 колебаний в секунду – 20 Гц, собственно звук – от 20 Гц до 20 кГц и ультразвук – свыше 20 кГц. В медицинской диагностике применяют ультразвук частотой от 0,8 до 15 МГц.

Общим свойством ионизирующих излучений является их способность ионизировать атомы окружающей среды, в том числе атомы, входящие в состав тканей человека. Все эти излучения делят на две группы: *квантовые* (т. е. состоящие из фотонов) и *корпускулярные* (состоящие из частиц).

Это деление в значительной мере условно, т. к. любое излучение имеет двойственную природу и в определенных условиях проявляет то свойства волны, то свойства частицы. Однако в радиологической практике это деление по ряду соображений удобно.

К *квантовым ионизирующим излучениям* относят *тормозное* (в частности, рентгеновское) излучение и *гамма-излучение*. К *корпускулярным излучениям* причисляют пучки электронов, протонов, нейтронов, мезонов и других частиц.

Различают естественные и искусственные источники ионизирующих излучений. Первым естественным источником является космическое излучение, приходящее на Землю из Вселенной. В его состав входят протоны, нейтроны, атомные ядра и другие частицы. Они нередко обладают исключительно высокой энергией, но благодаря наличию атмосферы тратят эту энергию главным образом на взаимодействие с атомами воздуха. На поверхности Земли интенсивность космического излучения сравнительно мала. Вторым естественным источником ионизирующих излучений являются радиоактивные элементы, распределенные в земных породах, воздухе, воде, живых организмах, в том числе в тканях человека. Все указанные источники определяют радиоактивность окружающей среды – естественный (природный) радиационный фон.

Искусственными источниками ионизирующих излучений являются различные технические устройства, созданные человеком.



Источниками ионизирующих излучений, используемых для медицинских целей, являются рентгеновские трубки, радиоактивные нуклиды и ускорители заряженных частиц.

*Рентгеновская трубка* представляет собой вакуумный стеклянный сосуд, в концы которого впаяны два электрода – катод и анод. Последний выполнен в виде тонкой вольфрамовой спирали, вокруг которой при ее нагревании образуется облако свободных электронов (термоэлектронная эмиссия). Под действием высокого напряжения, приложенного к полюсам рентгеновской трубки, они разгоняются и фокусируются на аноде.

Последний вращается с огромной скоростью – до 10 тыс. оборотов в 1 мин, чтобы поток электронов не попадал в одну точку и не вызвал расплавления анода из-за его перегрева. В результате торможения электронов на аноде часть их кинетической энергии превращается в электромагнитное излучение.

Исторически сложилось так, что это излучение было впервые обнаружено Рентгеном и получило название «рентгеновское». Таким образом, рентгеновское излучение – это разновидность тормозного излучения.

Другим источником ионизирующих излучений, используемых для медицинских целей, являются *радиоактивные нуклиды*. Их получают в атомных реакторах, на ускорителях заряженных частиц или с помощью генераторов радионуклидов.

*Ускорители заряженных частиц* – это установки для получения заряженных частиц высоких энергий с помощью электрического поля. Частицы движутся в вакуумной камере. Управление их движением осуществляется магнитным или, реже, электрическим полем. В зависимости от траекторий движения частиц различают циклические и линейные ускорители, а по характеру ускоряемых частиц – ускорители электронов (бетатрон, микротрон, линейный ускоритель электронов) и тяжелых частиц – протонов и др. (циклотрон, синхрофазотрон). Ускорители являются источником не только заряженных частиц, но и вторичных частиц – нейтронов, мезонов, а также тормозного электромагнитного излучения. Быстрые нейтроны генерируют на циклотроне.

В лучевой терапии ускорители заряженных частиц используют как источники электромагнитного излучения высоких энергий, реже – электронов и исключительно редко – протонов и нейтронов. В радионуклидной диагностике ускорители применяют для получения радионуклидов преимущественно с коротким и ультракоротким периодом полураспада.

Медицинские линейные ускорители заряженных частиц чаще всего используются для проведения наружной радиотерапии при злокачественных новообразованиях любых тканей и органов (рисунок 3.1).

Линейный ускоритель обеспечивает доставку к опухоли высокоэнергетических рентгеновских лучей. При этом повреждаются клетки новообразования, а окружающие здоровые ткани остаются в неприкосновенности. Линейный ускоритель применяется при стандартной лучевой терапии, радиотерапии с модулированной интенсивностью, радиотерапии под визуальным контролем, стереотаксических радиохирургических вмешательствах и экстракраниальной стереотаксической радиотерапии.





Рисунок 3.1 – Линейный ускоритель

*Принцип работы медицинского линейного ускорителя.* В основе работы линейного ускорителя лежат микроволновые технологии, подобные принципам действия радара. В волноводной системе линейного ускорителя происходит разгон (ускорение) электронов, которые затем сталкиваются с препятствием из тяжелого металла, что сопровождается выработкой высокоэнергетического рентгеновского излучения. На выходе из линейного ускорителя форма полученного пучка лучей подстраивается под параметры опухолевого очага, что обеспечивает его точное облучение.

Изменение формы пучка происходит с помощью многолепесткового коллиматора, встроенного в ускоритель, или специальных блоков, которые укрепляются на аппарате извне.

Во время лечения пациент располагается на подвижной кушетке, а положение его тела оценивается с помощью лазерной системы. Кушетка может перемещаться в разных направлениях: вверх, вниз, вправо, влево, вперед и назад. Пучки лучей выходят из устройства под названием гентри, которое вращается вокруг кушетки. Перемещения стола пациента и вращение гентри вокруг него обеспечивают возможность доставки излучения к опухоли под самыми разными углами. Объем необходимого радиотерапевтического вмешательства и дозу излучения определяет лечащий онколог-радиолог. Способ доставки назначенной дозы, а также расчет времени, которое для этого требуется линейному ускорителю, выбирает медицинский физик и дозиметрист. Непосредственный сеанс радиотерапии проводит врач-радиолог, который и управляет линейным ускорителем.

*Медицинский линейный ускоритель электронов ЛУЭР-20М.* Ускоритель является изоцентрической мегавольтной терапевтической установкой, предназначенной для проведения дистанционной лучевой терапии тормозным излучением и электронами в статическом и ротационном режимах (рисунок 3.2).

Ускоритель предназначен для использования в рентгенорадиологических и онкологических НИИ, в республиканских, областных и городских онкологических больницах.



Рисунок 3.2 – Медицинский линейный ускоритель электронов ЛУЭР-20М

При комплектации ускорителя комплексом аппаратных средств для проведения стереотаксической лучевой терапии узкими пучками тормозного излучения малообъемных внутричерепных патологических и нормальных структур, он может быть использован для лечения больных не только онкологического профиля. Характеристики ускорителя ЛУЭР-20М приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Радиационно-технические параметры ускорителя ЛУЭР-20М

Характеристика	Значение
<b>Тормозное излучение</b>	
Граничная энергия квантов, МэВ	6 и 18
Мощность поглощенной дозы: при энергии квантов 6 МэВ при энергии квантов 18 МэВ	2 3
Нормальное расстояние облучения (НРО), м	$1 \pm 0,005$
Размеры радиационных полей (на НРО), см	$2 \times 2 \dots 40 \times 40$
<b>Электронное излучение</b>	
Энергия электронов, МэВ	5; 8; 11; 14; 17; 20
Мощность поглощенной дозы	5
Нормальное расстояние облучения, м	$1 \pm 0,005$
Размеры радиационных полей (на НРО), см	$4 \times 4 \dots 26 \times 26$
<b>Инженерно-техническое обеспечение и оборудование</b>	
<b>Механико-геометрические параметры</b>	
Диапазон углов ротации штатива излучателя	$\pm 180^\circ$
Угловая скорость ротации, град/мин	120 и 240
Расстояние от изоцентра до пола, см, не более	130
Диапазон углов поворота системы диафрагмирования радиационной головки	$\pm 90^\circ$
Девиация изоцентра при ротации штатива, мм	$\pm 1$
<b>Инженерно-техническое обеспечение</b>	
Мощность электропитания, потребляемая ускорителем (от сети 3~5 Гц 380/220 В), кВт	45
Расход воды во внешнем контуре охлаждения, м <sup>3</sup> /с	3
Температура воды во внешнем контуре охлаждения, °С, не более	25

Рентгеновские аппараты (РА) – совокупность оборудования для получения и использования рентгеновского излучения. В зависимости от назначения РА делят на медицинские и технические.

Рентгеновские аппараты состоят из одного или нескольких рентгеновских излучателей (рентгеновских трубок); питающего устройства, обеспечивающего электрической энергией рентгеновский излучатель; устройства для преобразования рентгеновского излучения, прошедшего через исследуемый объект, в видимое изображение, доступное для наблюдения, анализа или фиксации (экран, рентгеновская кассета с рентгенографической пленкой, усилитель рентгеновского изображения, телевизионное видеоконтрольное устройство, видеоматрица, фотокамеры, кинокамеры и др.); штативных устройств, служащих для взаимной ориентации и перемещения излучателя, объекта исследования и приемника излучения: систем защиты и управления рентгеновским аппаратом. Для формирования потока излучения применяют диафрагмы, тубусы, фильтры, отсеивающие растры, формирующие излучение в пространстве коллиматоры; автоматические рентгеноэкспонетры и стабилизаторы яркости.

Медицинские рентгеновские аппараты делятся на рентгенодиагностические и рентгенотерапевтические.

Рентгенодиагностические аппараты в зависимости от конструкции и условий эксплуатации разделяют на стационарные, передвижные и переносные. Стационарные находятся в отделении и постоянно используются на одном месте, передвижные могут находиться в кузове автомобиля или вагоне поезда, а переносные могут быть перемещены одним или несколькими людьми.

К передвижным рентгеновским аппаратам предъявляется ряд специальных требований, вытекающих из неблагоприятных и сложных условий транспортировки, климатических условий и необходимости частого монтажа и демонтажа аппаратуры. В частности, укладочные ящики должны быть достаточно герметичными, чтобы защищать аппаратуру от воздействия пыли и влаги. Отдельные части РА должны быть надежно закреплены, чтобы обеспечить возможность транспортировки РА на поддрессоренном (обычно автомобильном) транспорте по шоссе и грунтовыми дорогами без повреждения частей РА. Колебания температуры окружающего воздуха в пределах от плюс 40 до минус 40° не должны влиять на качество работы РА при хранении и транспортировке их в этих условиях. Монтаж и демонтаж РА должны осуществляться силами обслуживающего персонала в течение получаса без применения специальных инструментов.

Переносные рентгеновские аппараты предназначены для производства простейших видов рентгенологических исследований в условиях скорой и неотложной помощи, а также помощи на дому. Они малогабаритны, легки, уместаются в двух небольших чемоданах.

Излучатель и генератор СВЧ размещают в процедурной, представляющей собой бункер с радиационной защитой и входным лабиринтом. Площадь бункера – не более 50 м<sup>2</sup>. Высота бункера – не менее 3,5 м. Остальное оборудование размещается в помещениях общей площадью не более 30 м<sup>2</sup>. Ускоритель может управляться как вручную, так и от компьютера. При этом обеспечивается включение ускорителя, устанавливаются и контролируются такие параметры, как вид



облучения, энергия ускоренных электронов, мощность и значение дозы, угол и скорость ротации излучателя, размеры полей облучения, положение терапевтического стола и другие.

*Рентгенодиагностический комплекс РУМ-20* предназначен для проведения стандартных рентгеновских обследований – рентгеноскопии и прицельных снимков в прямых и боковых проекциях в положениях стоя и лежа. Обеспечивает высокое качество снимков при минимальной лучевой нагрузке на пациента.

Для работы с аппаратом РУМ-20 обычно применяют пленки серии Structurix производства фирмы Agfa типа D2-D8. При напряжении на рентгеновской трубке 40...60 кВ рекомендуется использовать рентгеновскую пленку Structurix D2, которая занимает лидирующее положение при работе с низкими напряжениями и позволяет получать высококачественные, легковоспроизводимые снимки, с очень низким разбросом параметров и почти с полным отсутствием брака. Листы пленки между свинцовыми экранами толщиной 0,027 мм, запаянные вакуумным способом в пластиковые пакеты, непроницаемые для света, воздуха и влаги.

Химико-фотографическая обработка рентгеновских пленок должна осуществляться в условиях неактиничного освещения  $\lambda \geq 520$  нм: оливково-зеленый светофильтр Agfa G7, или красный светофильтр Agfa R1, или светодиодное освещение  $\lambda = 660$  нм. Для обработки рентгеновской пленки применяются следующие химреактивы: G128; фиксаж G328; стартер G1355. Для ручной обработки рентгеновских снимков применяют установки C31, C560, Structurix NDT-M, а также проявочные машины серии KODAK-M35. Для просмотра и расшифровки рентгенограмм применяют негатоскопы H85/220, C72, C82E, C22, рамки для пленок, наборы маркировочных знаков, держатели кассет, лупы измерительные, термоиндикаторные карандаши.

### **3.2 Порядок выполнения работы**

3.2.1 Изучить основные радиологические аппараты, используемые в медицине, а также методики медицинских исследований.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Какие виды ионизирующих излучений Вы знаете?
- 2 Что собой представляет рентгеновская трубка?
- 3 Опишите принцип работы медицинского линейного ускорителя.
- 4 Какие медицинские линейные ускорители электронов Вы изучили?



## 4 Изучение радиоизотопных приборов и методики медицинских исследований

**Цель работы:** изучить основы дозиметрического контроля при эксплуатации радиоизотопных приборов.

### 4.1 Основные теоритические сведения

При обращении с радиоизотопными приборами (РИП) существует потенциальная опасность облучения людей. Факторами, обуславливающими радиационную опасность, могут быть:

- гамма-излучение;
- тормозное излучение;
- альфа-излучение;
- бета-излучение;
- нейтронное излучение;
- радиоактивное загрязнение поверхностей.

На всех этапах обращения с РИП должны обеспечиваться условия, исключающие возможность облучения населения и персонала сверх установленных основных пределов доз облучения.

По степени радиационной опасности, в зависимости от вида и активности используемых в их составе радионуклидных источников ионизирующего излучения (далее – источники), устанавливаются четыре группы РИП.

Первая группа – РИП, содержащие источники альфа- или бета-излучения, минимально значимая активность (далее – МЗА) которых не более МЗА, приведенной в приложении 19 НРБ-2000; РИП, содержащие источники гамма-излучения, создающие мощность поглощенной дозы в воздухе не более 1,0 мкГр/ч на расстоянии 0,1 м от поверхности источника.

Вторая группа – РИП, содержащие источники альфа- или бета-излучения с активностью более МЗА, но не более 200 МБк.

Третья группа – РИП, содержащие источники альфа- или бета-излучения с активностью более 200 МБк, но не более 2000 МБк; РИП с источниками гамма-излучения, создающими мощность поглощенной дозы в воздухе более 1,0 мкГр/ч на расстоянии 0,1 м от поверхности источника, но не более 3,0 мкГр/ч на расстоянии 1,0 м от поверхности источника; РИП с источниками нейтронов, испускающими не более  $10^5$  н/с.

Четвертая группа – РИП, содержащие источники альфа- или бета-излучения с активностью более 2000 МБк; РИП с источниками гамма-излучения, создающими мощность поглощенной дозы в воздухе более 3,0 мкГр/ч на расстоянии 1,0 м от поверхности источника; РИП с источниками нейтронов, испускающими более  $10^5$  н/с.

Непосредственной работой с РИП второй–четвертой групп (производство, использование, монтаж, ремонт, перезарядка, обслуживание, демонтаж и утили-



зация) могут заниматься только лица, отнесенные к персоналу и прошедшие специальное обучение.

Лица, находящиеся по условиям работы в зоне воздействия ионизирующих излучений РИП второй–четвертой групп, должны быть отнесены к категории облучаемых лиц «персонал».

Использование РИП второй–четвертой групп допускается только после получения разрешения на право проведения работ от органов и учреждений, осуществляющих государственный санитарный надзор.

При наличии в организации РИП первой группы в количестве, при котором суммарная активность содержащихся в них радионуклидных источников превышает 10 МЗА, необходимо получение разрешения на право проведения работ.

Организации, использующие или имеющие в наличии РИП первой группы в количестве, при котором суммарная активность содержащихся в них радионуклидных источников превышает 10 МЗА, и (или) второй–четвертой групп, ежегодно заполняют и представляют в установленном порядке радиационно-гигиенический паспорт пользователя источников ионизирующего излучения.

Ежегодно комиссия, назначенная руководителем организации, проводит инвентаризацию всех имеющихся в организации РИП. В случае обнаружения хищений и потерь источников ионизирующего излучения администрация организации обязана немедленно информировать вышестоящую организацию, а также учреждение, осуществляющее государственный санитарный надзор, выдавшее санитарный паспорт на право работ с источниками ионизирующего излучения (далее – центр гигиены и эпидемиологии).

#### *4.1.1 Требования к конструкции радиоизотопных приборов.*

При разработке конструкции РИП должно быть предусмотрено:

- наличие устройств, информирующих о положении источника в блоке (положения «работа» или «хранение»);
- возможность перекрытия выхода прямого пучка излучения за пределы блока источника и снижения уровней излучений до регламентируемых величин при нахождении источника в положении «хранение»;
- надежная фиксация источника в положениях «работа» и «хранение», исключающая возможность перевода источника из положения «хранение» в положение «работа» без специального ключа, но позволяющая беспрепятственно перевести его из положения «работа» в положение «хранение»;
- невозможность доступа к источнику без использования специального инструмента и без повреждения пломбы изготовителя;
- надежное крепление стационарных РИП, исключающее возможность их несанкционированного съема посторонними лицами.

Первые три требования данного пункта не распространяются на РИП, у которых отсутствует пучок излучения, выводимый за пределы корпуса РИП, и источник неподвижен.

Радиационная защита блока источника РИП второй–четвертой групп должна обеспечивать ослабление мощности эквивалентной дозы излучения до величины не более 100 мкЗв/ч на поверхности блока источника



и не более 3,0 мкЗв/ч на расстоянии 1,0 м от нее. Эти требования должны выполняться для всех точек при нахождении источника в положении «хранение», и для всех точек вне зоны рабочего пучка излучения, указанной в технической документации, при нахождении источника в положении «работа».

#### *4.1.2 Размещение, эксплуатация и вывод из эксплуатации радиоизотопных приборов.*

Установка стационарных РИП второй–четвертой групп проводится в строгом соответствии с технической документацией и проектом. Способ установки и крепления РИП должен исключать возможность несанкционированного использования их посторонними лицами и обеспечивать сохранность источников.

При установке РИП третьей–четвертой группы следует, по возможности, максимально удалять их от постоянных рабочих мест.

При использовании РИП второй–четвертой групп необходимо выполнять следующие требования:

- пучок излучения направлять в наиболее безопасную для работающих в данном помещении сторону (в сторону земли, в сторону капитальной стены и тому подобное);

- установку РИП осуществлять так, чтобы мощность дозы на постоянных рабочих местах и в местах возможного нахождения людей не превышала 1,0 мкЗв/ч, используя для этого, в случае необходимости, дополнительные средства радиационной защиты (стационарные или переносные);

- не допускать наличия постоянных рабочих мест на расстоянии менее 1,0 м от поверхности блока источников стационарных РИП третьей–четвертой групп и исключать доступ в эту зону посторонних лиц.

Монтаж и наладка РИП второй–четвертой групп, перезарядка блоков источников, а также их ремонт и техническое обслуживание осуществляются эксплуатирующей или иной организацией, имеющей лицензию на данный вид деятельности.

После монтажа и наладки стационарных РИП второй–четвертой групп организацией, аккредитованной на право проведения соответствующих видов измерений, в присутствии лица, ответственного за радиационную безопасность, должна быть измерена мощность эквивалентной дозы излучения:

- на наружной поверхности блока источника (РИП) и на расстоянии 1,0 м от нее;

- на ближайших рабочих местах;

- в местах возможного доступа лиц, не связанных с эксплуатацией РИП и оборудования, на котором он установлен.

Кроме того, должен быть проведен контроль радиоактивного загрязнения поверхности блока.

По результатам проведенных измерений оформляются три экземпляра протокола измерений. Один экземпляр остается в эксплуатирующей организации, второй – в организации, проводившей монтаж и наладку РИП, третий – передается в центр гигиены и эпидемиологии.

После завершения монтажа и наладки стационарных РИП второй–четвертой



групп и проведения необходимого радиационного контроля они принимаются в эксплуатацию.

Для получения заключения органов и учреждений, осуществляющих государственный санитарный надзор при приемке в эксплуатацию объектов, использующих стационарные РИП второй–четвертой групп, организация представляет:

- техническую документацию на РИП;
- свидетельство о гигиенической регистрации на РИП;
- паспорта источников, установленных в блоках источников РИП;
- проект размещения стационарных РИП;
- протокол измерений мощности эквивалентной дозы, проведенных после монтажа и наладки стационарных РИП;
- приказ о назначении лиц, ответственных за радиационную безопасность, учет и хранение источников излучения, за организацию сбора и сдачу радиоактивных отходов, за радиационный контроль;
- инструкцию по радиационной безопасности при использовании РИП;
- инструкцию по действиям персонала в аварийных ситуациях;
- положение о службе радиационной безопасности или лице, ответственном за радиационную безопасность;
- порядок проведения производственного контроля за обеспечением радиационной безопасности;
- приходно-расходный журнал учета радиоизотопных приборов, радионуклидных источников ионизирующего излучения к РИП;
- список сотрудников организации, отнесенных к персоналу, утвержденный приказом руководителя организации;
- должностные инструкции, определяющие обязанности персонала;
- заключительный акт медосмотров персонала;
- протокол проверки знаний персонала;
- журнал инструктажа персонала по радиационной безопасности;
- план мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии.

#### *4.1.3 Радиационный контроль.*

Анализ результатов радиационного контроля осуществляется в каждой организации. Данные контроля за обеспечением радиационной безопасности используются для оценки радиационной обстановки, установления контрольных уровней, разработки мероприятий по снижению доз облучения и оценки их эффективности, ведения радиационно-гигиенического паспорта пользователя источников ионизирующего излучения.

Радиационный контроль с учетом особенностей и условий выполняемых работ осуществляется специальной службой или лицом, ответственным за радиационную безопасность, прошедшим специальную подготовку. Допускается проведение радиационного контроля в организации на основе договора с аккредитованной в соответствующих областях измерений лабораторией радиационного контроля.

В зависимости от типов используемых в организации РИП радиационный



контроль включает измерение следующих параметров:

- мощность эквивалентной дозы гамма-излучения;
- мощность эквивалентной дозы тормозного излучения;
- мощность эквивалентной дозы нейтронного излучения;
- поверхностное загрязнение РИП и оборудования радионуклидами.

Измерения мощности эквивалентной дозы на рабочих местах и в местах возможного нахождения людей проводятся на трех высотах: 0,5, 1,0 и 1,5 м над полом. Измерения поверхностного радиоактивного загрязнения РИП и оборудования проводятся методом мазков.

В организациях, использующих РИП, проводятся:

- проверка крепления стационарных РИП (блоков источников) при эксплуатации их в условиях вибрации (толчков) – ежедневно;
- визуальный осмотр стационарных РИП второй–четвертой групп с проверкой сохранности пломб и замков блоков источников и записью результатов осмотра в журнал проведения профилактических осмотров радиоизотопных приборов – еженедельно;
- проверка наличия источников в блоках источников РИП второй–четвертой групп – еженедельно;
- проверка надежности крепления блоков источников стационарных РИП второй–четвертой групп и конструкций дополнительной радиационной защиты (если они предусмотрены) – ежеквартально;
- измерение мощности эквивалентной дозы на поверхности переносных РИП второй–четвертой групп и на расстоянии 1,0 м от них – ежеквартально;
- проверка соответствия мощности эквивалентной дозы на поверхности блоков источников стационарных РИП второй–четвертой групп, на расстоянии 1,0 м от нее, на рабочих местах и в местах возможного нахождения людей на соответствие требованиям нормативным документам – один раз в полугодие;
- контроль наличия стационарных РИП первой группы в местах их установки – один раз в полугодие.

#### *4.1.4 Предупреждение возможных радиационных аварий и ликвидация их последствий.*

К радиационным авариям при обращении с РИП относятся:

- 1) утеря или хищение источника, блока источника или РИП;
- 2) выпадение источника из блока источника (РИП);
- 3) разгерметизация источника РИП;
- 4) разрушение или снижение качества радиационной защиты блока источника (РИП) или дополнительной радиационной защиты (при ее наличии);
- 5) нарушение работы механизма перевода источника из положения «работа» в положение «хранение» или механизма перекрытия рабочего пучка излучения;
- 6) самопроизвольное перемещение (падение) стационарного РИП в результате разрушения или ослабления приспособлений для его крепления;
- 7) облучение в результате неправильной эксплуатации РИП персонала или населения дозой, превышающей основные пределы доз для персонала и населения, соответственно;



8) радиоактивное загрязнение окружающей среды.

Для предупреждения радиационных аварий следует выполнять следующие требования:

- при обращении с РИП соблюдать меры обеспечения радиационной безопасности;

- не допускать извлечения источников из блоков источников РИП, если это не предусмотрено инструкцией по эксплуатации. В тех случаях, когда инструкцией по эксплуатации предусмотрено их извлечение, эту операцию должны выполнять только подготовленные специалисты с использованием дистанционного инструмента, защитных экранов и других приспособлений в строгом соответствии с инструкцией по эксплуатации;

- условия эксплуатации (вибрация, температура, пыль, влага, агрессивные среды и тому подобное) РИП должны соответствовать технической документации;

- при работе с РИП в полевых условиях проверку наличия источника в блоке источника (РИП) следует проводить перед началом каждой рабочей смены. После окончания рабочей смены следует убедиться в том, что источник находится в положении «хранение».

При возникновении или угрозе возникновения радиационной аварии следует немедленно выполнить следующие мероприятия:

- 1) прекратить работу на аварийном участке;
- 2) вывести людей из предполагаемой зоны радиационной аварии и обозначить зону знаками радиационной опасности;
- 3) поставить в известность администрацию организации, службу радиационной безопасности или лицо, ответственное за радиационную безопасность;
- 4) организовать учет облучения персонала и лиц, вовлеченных в аварию, согласно действующей государственной системе учета и контроля индивидуальных доз облучения.

## **4.2 Порядок выполнения работы**

4.2.1 Изучить основы дозиметрического контроля при эксплуатации радиоизотопных приборов

### **Контрольные вопросы**

- 1 Как осуществляется планировка помещений для проведения дозиметрического контроля при эксплуатации радиоизотопных приборов?
- 2 На каком принципе основана работа радиоизотопных приборов?
- 3 Назовите основные группы радиоизотопных приборов.



## 5 Расчет защиты от рентгеновского излучения

**Цель работы:** изучить принцип расчета толщины защиты от прямого рентгеновского излучения.

### 5.1 Основные теоретические сведения

Для защиты от ионизирующего излучения применяют устройства стационарные (стены, перекрытия потолков и полов, защита дверей, дверных проёмов, смотровых окон и т. п.) и передвижные (защитные кожухи рентгеновских трубок, контейнеры для перевозки и хранения радиоактивных источников, защитные кабины, экраны, ширмы и т. п.).

Защитные устройства изготавливают из различных материалов (свинца, железа, чугуна, баритобетона, свинцового стекла и др.), характеристики которых будут рассмотрены ниже. При расчёте толщины необходимо учитывать энергетический спектр излучения, его интенсивность, расстояние от людей до источника, время работы с излучением, категорию облучаемых лиц и назначение помещений.

### 5.2 Расчет защиты от прямого рентгеновского излучения

Рентгеновское излучение, возникающее при торможении ускоренных электронов на аноде рентгеновской трубки, имеет непрерывный энергетический спектр. Напомним, что максимальная энергия тормозного излучения  $E_{\max}$  в электрон-вольтах численно равна максимальному напряжению, приложенному к рентгеновской трубке  $U_{\max}$  в вольтах. Максимальная интенсивность энергетического спектра рентгеновского излучения соответствует энергии фотонов

$$E = \frac{2}{3} \cdot E_{\max} . \quad (5.1)$$

Экспозиционную дозу  $D$  и мощность экспозиционной дозы  $P$  рентгеновского излучения можно пересчитать по формулам:

$$P = \frac{P_m \cdot i}{R^3} ;$$

$$D = \frac{P_m \cdot i \cdot t \cdot 3,6 \cdot 10^3}{R^2} , \quad (5.2)$$

где  $P$  – мощность экспозиционной дозы на расстоянии  $R$  от трубки, Р/с;

$P_m$  – лучевая отдача данной рентгеновской трубки (мощность экспозиционной дозы на расстоянии 1 м при токе 1 мА), Р·м<sup>2</sup>/(с·мА);

$i$  – ток через трубку, мА;



$t$  – время работы, ч;

$D$  – экспозиционная доза на расстоянии  $R$  метров от трубки, Р.

Для упрощения расчёт проводят, основываясь на эффективной энергии всего спектра излучения. За эффективную обычно принимают энергию, соответствующую напряжению  $2/3 U_{\max}$ . В этом случае закон ослабления широкого пучка рентгеновского излучения записывают в виде формулы

$$P = P_0 [\exp(-\mu \cdot l)] \cdot B, \quad (5.3)$$

где  $P_0$  – мощность экспозиционной дозы в отсутствие защиты;

$P$  – мощность экспозиционной дозы за защитой;

$\mu$  – линейный коэффициент ослабления,  $\text{см}^{-1}$ ;

$l$  – толщина защиты, см;

$B$  – фактор накопления рассеяния излучения.

Линейные коэффициенты ослабления и дозовые факторы накопления находят по таблицам [4].

Расчёт по этой формуле даёт хорошее совпадение с экспериментом при напряжении  $U_{\max}$  свыше 200...300 кВ. При более низких напряжениях этим методом пользоваться нельзя, т. к. для длительного излучения характерны скачки поглощения в материалах (в свинце, например, при энергии фотонов 88 кэВ). Поэтому для нахождения толщины защиты при напряжениях на рентгеновской трубке меньше 300 кВ следует использовать экспериментальные данные.

Ниже рассмотрено несколько методов определения толщины защиты от прямого рентгеновского излучения.

*Расчет по таблицам.*

Толщину защиты из свинца и бетона при напряжении на рентгеновской трубке от 100 до 400 кВ удобно определять по таблице 5.1, взятой из [5, приложение 1].

Таблица 5.1 – Толщина защиты из свинца и бетона для различных кратностей ослабления прямого рентгеновского излучения

K	$U_0$ , кВ													
	100		125		150		200		250		300		400	
	Сви- нец	Бе- тон												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,001	–	–	0,5	–	0,5	–	1	–	1,5	–	2	–	–	–
0,002	0,5	–	0,5	–	1	–	1,2	–	2,2	–	3	–	–	–
0,003	0,5	–	0,8	–	1	–	1,5	–	2,5	–	4	–	–	–
0,005	0,8	–	1	–	1,3	–	2	–	3	–	4,5	–	–	–
0,01	1	70	1,3	100	1,5	140	2,3	180	3,5	200	6	260	10	150
0,02	1,3	85	1,5	140	1,8	150	2,5	200	4	230	7,2	290	12	180
0,03	1,3	100	1,5	140	2	170	2,8	220	4,5	240	8,3	310	14	–
0,05	1,5	120	1,7	150	2	180	3	240	5	270	10	340	16	–
0,1	1,5	130	1,8	160	2,3	200	3,5	270	5,8	300	11,5	370	18	300



Окончание таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,2	1,8	140	2	160	2,5	220	3,8	300	6,5	340	13	400	–	–
0,3	2	160	2,3	180	2,8	230	4	310	7	350	13,5	410	–	–
0,5	2,2	170	2,5	200	3	250	4,5	320	7,5	370	14,5	430	19	320
1	2,5	180	2,8	220	3,2	270	5	350	8,5	400	16,5	460	21	340
2	2,8	200	3	240	3,5	290	5,5	380	9,5	430	18	490	–	–
3	2,9	210	3,3	270	4	320	5,8	390	10	450	19	510	–	–
5	3	220	3,5	300	4,3	340	6	400	10,5	460	20	520	25	380
10	3,3	240	3,8	320	4,5	360	6,5	430	11,5	490	21,5	560	28	450
20	3,4	250	4	340	4,8	400	7	460	12	520	23,5	600	–	–
30	3,5	260	4,2	350	5	410	7,5	470	13	550	24,5	610	–	–
50	3,8	270	4,5	360	5,3	420	7,8	480	13,5	570	25,5	620	–	–
100	4	300	4,8	380	5,5	430	8,2	500	14	580	27	650	31	480

Толщина защиты при этом определяется в зависимости от отношения

$$K = \frac{i \cdot t \cdot 100}{R^2 \cdot 36 \cdot D_0}, \quad (5.4)$$

где  $i$  – ток в рентгеновской трубке, мА;

$R$  – расстояние от анода рентгеновской трубки до защищаемого объекта, м;

$t$  – время облучения за неделю, ч;

$D_0$  – проектная недельная экспозиционная доза излучения.

Для лиц, работающих в рентгеновских кабинетах,  $D_0 = 50$  мР в неделю, и если работа проводится в течение  $t = 36$  ч в неделю, формулы сводятся к простому выражению

$$K = \frac{2 \cdot i}{R^2}. \quad (5.5)$$

Для смежных помещений (проектная мощность экспозиционной дозы  $P = 0,1$  мР/ч) и для 36-часовой рабочей недели формула принимает следующий вид:

$$K = \frac{28 \cdot i}{R^2}. \quad (5.6)$$

По величине  $K$  и напряжению на трубке находят толщину защитного слоя из свинца и бетона плотностью  $2,35$  г/см<sup>3</sup>. Если плотность используемого строительного материала (кирпич, бетон) не равна  $2,35$  г/см<sup>3</sup>, то полученное значение толщины бетонного слоя следует умножить на  $2,35/p$ , где  $p$  – плотность используемого материала, г/см<sup>3</sup>.



### 5.3 Примеры решения задач

**Задача 1.** Определить толщину защиты из свинца или бетона для лиц, работающих на расстоянии  $R = 4$  м от рентгеновской трубки в течение 36 ч в неделю при напряжении на трубке 200 кВ и силе тока  $i = 16$  мА.

*Решение*

Указанным величинам  $R$  и  $i$  соответствует значение

$$K = \frac{2i}{R^2} = \frac{2 \cdot 16}{4^2} = 2.$$

В таблице 5.1 находим, что необходимая толщина защитного слоя составляет 5,5 мм свинца и 380 мм бетона.

**Задача 2.** Определить толщину защиты из кирпича ( $\rho = 1,5$  г/см<sup>3</sup>) для лиц, работающих в смежных помещениях при условиях, изложенных в задаче 1.

*Решение*

Значение кратности ослабления

$$K = \frac{28i}{R^2} = \frac{28 \cdot 16}{4^2} = 28.$$

Необходимая толщина бетона согласно таблице составляет 465 мм. Необходимая толщина кирпича равна  $465 \cdot 2,35/1,5 = 730$  мм.

*Расчёт защиты по номограммам.*

Для определения свинцовой защиты в широком диапазоне напряжения на рентгеновской трубке (от 75 до 2000 кВ) могут служить номограммы. Номограмма основана на экспериментальных данных по ослаблению пучка рентгеновского излучения. По оси ординат номограммы отложено значение величины кратности ослабления  $K$ , определяемой по формуле

$$K = \frac{P_m \cdot l \cdot 10^{-6} \cdot i}{P_\tau \cdot P_0 \cdot R^2}, \quad (5.7)$$

где  $P_m$  – лучевая отдача данной рентгеновской трубки, Р·м<sup>2</sup>/(с·мА);

$P_\tau$  – лучевая отдача рентгеновской трубки, определяется по рисунку А1, Р·м<sup>2</sup>/(с·мА);

$P_0$  – проектная мощность экспозиционной дозы, Р/с;

$i$  – ток, мА;

$R$  – расстояние между анодами рентгеновской трубки и рабочим местом, м.

Проектная мощность экспозиционной дозы  $P_0$ , Р/с, для помещений, где постоянно пребывает персонал, при работе  $t$  часов в неделю, вычисляется по формуле



$$P = \frac{1,4 \cdot 10^{-5}}{t}. \quad (5.8)$$

**Задача 3.** Найти толщину свинцовой защиты при условии  $U_{\max} = 75$  кВ,  $i = 5$  мА,  $R = 3$  м,  $P_m = P_\gamma$ .

*Решение*

По формуле вычисляем величину  $K$  для указанных условий:

$$K = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 5}{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 9} \approx 1,4.$$

Согласно таблице 5.1, найденному  $K$  при напряжении 75 кВ соответствует толщина свинца  $l = 1,8$  мм.

#### 5.4 Порядок выполнения работы

5.4.1 Изучить принцип расчета толщины защиты от прямого рентгеновского излучения.

5.4.2 Определить толщину защиты из свинца или бетона для лиц, работающих на расстоянии 4 м от рентгеновской трубки в течение 36 ч в неделю. Значения напряжения на трубке  $U$  и силы тока  $i$  приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Варианты задания значений напряжения на трубке и силы тока

Номер варианта	1	2	3	4
Напряжение на трубке $U$ , кВ	250	150	120	100
Сила тока $i$ , мА	12	10	8	6

5.4.3 Найти толщину свинцовой защиты при условиях, приведенных ниже в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Варианты задания значений максимального напряжения на трубке и силы тока

Номер варианта	1	2	3	4
Максимальное напряжение на трубке $U_{\max}$ , кВ	100	120	160	180
Сила тока $i$ , мА	4,5	4	3	2

Расстояние между анодами рентгеновской трубки и рабочим местом  $R = 3$  м для всех вариантов,  $P_m = P_\gamma$ .



### **Контрольные вопросы**

- 1 Какие устройства применяют для защиты от ионизирующего излучения?
- 2 Из каких материалов изготавливают защитные устройства?
- 3 Какие методы определения толщины защиты от прямого рентгеновского излучения Вы знаете?

## **6 Расчет защиты от гамма-излучения**

**Цель работы:** изучить принцип расчета толщины защиты от прямого  $\gamma$ -излучения радиоактивных источников.

### **6.1 Основные теоретические сведения**

Для защиты от ионизирующего излучения применяют устройства стационарные (стены, перекрытия потолков и полов, защита дверей, дверных проёмов, смотровых окон и т. п.) и передвижные (защитные кожухи рентгеновских трубок, контейнеры для перевозки и хранения радиоактивных источников, защитные кабины, экраны, ширмы и т. п.).

Защитные устройства изготавливают из различных материалов (свинца, железа, чугуна, баритобетона, свинцового стекла и др.), характеристики которых будут рассмотрены ниже. При расчёте толщины необходимо учитывать энергетический спектр излучения, его интенсивность, расстояние от людей до источника, время работы с излучением, категорию облучаемых лиц и назначение помещений.

### **6.2 Расчет защиты от прямого гамма-излучения радиоактивных источников**

Радиоактивные источники, применяемые при проведении медицинских исследований, можно рассматривать при расчёте защиты как точечные излучатели. Для точечных источников экспозиционная доза (поглощенная доза) и мощность экспозиционной дозы (поглощённой дозы) изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния между точкой измерения и источником  $R$ :

$$P = \frac{M \cdot 8,4}{R^2 \cdot 10^4}; \quad D = \frac{M \cdot 8,4 \cdot t}{R^2 \cdot 10^4};$$

$$P = \frac{Q \cdot K_\gamma}{R^2 \cdot 10^4}; \quad P = \frac{Q \cdot K_\gamma \cdot t}{R^2 \cdot 10^4}; \quad (6.1)$$

$$P = \frac{P_0}{R^2}; \quad D = \frac{P_0 \cdot K_\gamma \cdot t}{R^2},$$



где  $P$  – мощность экспозиционной дозы на расстоянии  $R$  от источника, Р/ч;  
 $P_0$  – мощность экспозиционной дозы на расстоянии 1 м от источника, Р/ч;  
 $D$  – экспозиционная доза на расстоянии  $R$  от источника, Р;  
 $M$  – гамма-эквивалент радиоактивного источника, мг-экв Ra;  
 $t$  – время работы с радиоактивным источником, ч;  
 $Q$  – активность радиоактивного источника, мКи;  
 $K_\gamma$  – гамма-постоянная радиоактивного нуклида, Р·см<sup>2</sup>/(ч·мКи);  
 8,4 – гамма-постоянная радия при платиновом фильтре толщиной 0,5 мм, Р·см<sup>2</sup>/(ч·мКи).

Соотношение между мощностью экспозиционной дозы, измеряемой на расстоянии 1 м от источника, и гамма-эквивалентом  $M$ , определяется равенством:  
 $1 \text{ г-экв Ra} = 2,33 \cdot 10^{-4} \text{ Р/с}$ .

*Гамма-эквивалент источника* – условная масса точечного источника <sup>226</sup>Ra, создающего на данном расстоянии такую же мощность экспозиционной дозы, как данный источник. Специальной единицей гамма-эквивалента является килогамм-эквивалент радия. 1 кг-экв Ra на расстоянии 1 см в воздухе от источника создаёт мощность экспозиционной дозы в 2,33 Р/ч, соответственно 1 мг-экв Ra =  $2,33 \cdot 10^{-3} \text{ Р/с}$ , или 8,4 Р/ч. Гамма-постоянной  $K_\gamma$  радиоактивного нуклида принято называть мощность экспозиционной дозы, создаваемую нефльтрованным излучением точечного изотропного излучения источника активностью 1 мКи на расстоянии 1 см от него.

Приведённые формулы позволяют определить дозу или мощность дозы, создаваемые прямым излучением незащищённого источника на любом расстоянии от него. Для снижения этой дозы или мощности дозы до необходимого уровня чаще всего используют защитные устройства, которые устанавливают между источником и рабочим местом.

При медицинских исследованиях приходится иметь дело, в основном, с узкими пучками  $\gamma$ -излучения. Расчёты мощности дозы за защитой достаточно трудоёмки, т. к.  $\gamma$ -излучение большинства источников не моноэнергетическое. Поэтому толщину защиты целесообразно определять по номограмме, таблицам и графикам, полученным на основании экспериментальных и теоретических данных по ослаблению узкого пучка  $\gamma$ -излучения источников, нашедших применение при медицинских исследованиях.

Все номограммы, графики и таблицы, рассчитанные для помещений с постоянным пребыванием лиц категории А, можно использовать и при расчёте защиты в других случаях, в том числе и для лиц категории Б. Для этого необходимо ввести фиктивные мощности экспозиционных доз на расстоянии 1 м, гамма-эквиваленты источников и точки рентгеновских трубок, превышающие истинные во столько раз, во сколько соответствующие проектные мощности дозы меньше тех, которые были использованы при расчётах.

Во всех случаях, если не оговорено специально, защиту рассчитывают для персонала (категория А). Принято также, что при внешнем облучении коротковолновым рентгеновским и  $\gamma$ -излучением всего тела, как при медицинских ис-

следованиях, предельно допустимая доза в 5 бэр в год почти соответствует мощности экспозиционной дозы 2,8 мР/ч (при 36-часовой рабочей неделе). В этом случае проектная недельная доза для персонала (категория А) равна 50 мР. Проектная мощность экспозиционной дозы коротковолнового рентгеновского и  $\gamma$ -излучения при расчёте защиты помещений с постоянным пребыванием лиц категории А принята равной 1,4 мР/ч или 50/t мР/ч, если заранее известно время  $t$  работы установок в течение недели.

Существует несколько методов расчёта, рассмотрим некоторые из них.

#### *Расчёт защиты по кратности ослабления*

**Задача 1.** Требуется ослабить  $\gamma$ -излучение  $^{135}\text{Cs}$  свинцом, железом или бетоном до допустимого уровня для  $t = 36$  ч в неделю, если мощность экспозиционной дозы  $P = 280$  мР/ч.

#### *Решение*

Проектная мощность экспозиционной дозы  $P_c$  равна 1,4 мР/ч и необходимая кратность ослабления составляет

$$K = \frac{P}{P_0} = \frac{280}{1,4} = 200.$$

Кратность ослабления  $K = 2 \cdot 10^2$  соответствует  $l = 4,8$  см свинца и  $l = 13,4$  см железа.

#### *Расчёт защиты по универсальным таблицам.*

При использовании других источников  $\gamma$ -излучения защиту удобно рассчитывать по кратности ослабления, пользуясь универсальными таблицам. Таблицы рассчитаны на основании экспериментальных данных и теории ослабления широкого пучка моноэнергетического  $\gamma$ -излучения.

**Задача 2.** Рассчитать защиту из свинца или бетона от  $\gamma$ -излучения  $^{60}\text{Co}$  (энергия излучения 1,25 МэВ) с  $\gamma$ -эквивалентом  $M = 4$  г-экв Ra. Работа проводится на расстоянии 5 м от источника в течение 36-часовой недели.

#### *Решение*

Мощность экспозиционной дозы, создаваемой незащищённым источником на указанном расстоянии, выражается формулой

$$P = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 8,4}{25 \cdot 10^4} = 0,14 \text{ Р/ч} = 140 \text{ мР/ч}.$$

Кратность ослабления экспозиционной дозы



$$K = \frac{140}{1,4} = 100.$$

В таблице для энергии  $\gamma$ -излучения 1,25 МэВ к кратности ослабления  $K = 100$  находим толщину защиты из свинца  $l = 8,45$  см. Согласно таблицам, этим же условиям соответствует защита из бетона толщиной  $l = 54,5$  см.

### 6.3 Порядок выполнения работы

6.3.1 Изучить принцип расчета толщины защиты от  $\gamma$ -излучения.

6.3.2 Рассчитать защиту, если требуется ослабить  $\gamma$ -излучение  $^{135}\text{Cs}$  свинцом, железом или бетоном до допустимого уровня для  $t = 36$  ч в неделю. Мощность экспозиционной дозы для разных вариантов представлена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Варианты исходных данных для расчета защиты от  $\gamma$ -излучения

Номер варианта	1	2	3	4
Мощность экспозиционной дозы $\underline{P}$ , мР/ч	240	220	200	160

### Контрольные вопросы

- 1 Какие устройства применяют для защиты от ионизирующего излучения?
- 2 Что такое гамма-эквивалент источника?
- 3 Какие методы расчета защиты от  $\gamma$ -излучения существуют?

### Список литературы

- 1 Лучевая диагностика : учебник / Под ред. Г. Е. Труфанова. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 496 с. : ил.
- 2 **Костылев, В. А.** Радиационная безопасность в медицине : учебное пособие / В. А. Костылев, Б. Я. Наркевич. – Москва : Тривант, 2014. – 202 с.
- 3 **Хофер, М.** Компьютерная томография: базовое руководство / М. Хофер. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Мед. лит., 2016. – 224 с.: ил.
- 4 **СанПиН 2.6.1.8-38-2003.** Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. – 2-е изд. – Минск: РЦГЭ МЗ РБ, 2008. – 82 с.
- 5 **Ставицкий, Р. В.** Медицинская рентгенология. Технические аспекты. Клинические материалы. Радиационная безопасность / Р. В. Ставицкий. – Москва : МНПИ, 2006. – 344 с. : ил.

