

Тема 11 Защита от ионизирующего излучения

11.1. Основные понятия, физические характеристики

Ионизирующее излучение (ИИ) — излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков.

Ионизирующее излучение прямо или косвенно вызывает ***ионизацию среды***, т.е. образование заряженных атомов или молекул - ионов.

Ионизирующее излучение можно разделить на:

- ***корпускулярное*** (альфа-, бета-, нейтронное, поток заряженных частиц);
- ***электромагнитное*** (гамма, рентгеновское) излучения.

Источники фонового облучения организма:

- космическое облучение;
- природные источники;
- технологически повышенный радиационный фон (приборы для контроля и автоматизации технологических процессов, использующие радиоактивные изотопы);
- облучение от испытания ядерного оружия;
- облучения от выбросов АЭС и технологических катастроф на АЭС;
- облучения, получаемая при медицинских обследованиях и радиотерапии;
- контейнеры для сбора и утилизации технологических отходов, в том числе радиоактивных элементов приборов;
- ионизационные датчики;
- отработанные элементы оборудования, материалы, приспособления и т.п.

Радиоактивностью называется превращение неустойчивого нуклида в другой нуклид, сопровождающееся испусканием ионизирующего излучения.

Активность радионуклида (измеряется в Беккерелях (Бк)) – это величина, характеризующая число распадов неустойчивых нуклидов в единицу

времени.

Поглощенной дозой излучения (единица измерения Грей (Гр)) называется отношение приращения энергии, переданной веществу ионизирующим излучением к массе этого вещества.

Эквивалентной дозой излучения (единица измерения Зиверт (Зв)) называется величина, равная поглощенной дозе излучения умноженная на коэффициент качества излучения. *Внесистемная единица измерения эквивалентной дозы ионизирующего излучения - бэр* (от «биологический эквивалент рентгена», русское обозначение; международное: rem (roentgen equivalent man)) - устаревшая. **Бэр** равен 0,01 Дж/кг для излучений с коэффициентом качества, равным единице.

$$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв},$$

$$1 \text{ мбэр} = 10 \text{ мкЗв}.$$

В РФ **бэр** используется в качестве внесистемной единицы.

Эффективная доза – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и его отдельных органов с учетом их радиочувствительности. Она представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органе или ткани на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного органа или ткани, измеряется в тех же единицах, что и эквивалентная доза.

Коэффициент качества излучения - это безразмерный коэффициент, определяющий воздействие различных видов излучения.

Таблица 11.1

Коэффициент качества излучения

| Излучения | k |
|--|----|
| поток ядер гелия, α-излучение | 20 |
| поток электронов или позитронов, β-излучение | 1 |
| электромагнитное излучение $f = 10^{20} - 10^{22}$ Гц, γ-излучение | 1 |
| поток незаряженных частиц нейтроны | 10 |
| электромагнитное $f = 10^{17} - 10^{19}$ Гц, рентгеновское излучения | 1 |

Мощностью эквивалентной дозы (измеряется Зв/год) называется

величина эквивалентной дозы, накопленная за определенный промежуток времени.

*Экспозиционная доза (измеряется в кулонах на кг (Кл/кг)) устаревшая характеристика фотонного излучения, основанная на его способности ионизировать сухой атмосферный воздух. Внесистемная единица - **рентген(P)**.*

$$1 \text{ P} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}$$

Виды и источники ионизирующих излучений.

Различают следующие виды ионизирующих излучений (ИИ):

1) *α -излучение* представляет собой поток ядер гелия, возникающих при ядерных превращениях;

2) *β -излучение* представляет собой поток электронов и позитронов;

3) *нейтронное излучение* представляет собой поток нейтронов, при этом возникает упругое и неупругое взаимодействие с веществом. При упругом взаимодействии происходит обычная ионизация вещества, а при неупругом взаимодействии возникает γ -излучение или поток заряженных частиц;

4) *поток заряженных частиц* - это корпускулярные ионизирующие излучения, т.е. это частицы, движущиеся с большой скоростью и обладающие большой энергией.

5) *γ -излучение* - это электромагнитное излучение, возникающее при ядерных превращениях;

6) *рентгеновское излучение* - это электромагнитное излучение, возникающее при работе сложных электронных систем;

7) *фоновое излучение* складывается из:

- дозы от природных источников (в природе существует более 60 изотопов);

- дозы от космического излучения;

- технологического повышенного фона, т.е. используются источники на предприятии;

- дозы от испытаний ядерного оружия;

- дозы от предприятий теплоэнергетики;

- дозы от источников, применяемых в быту;
- дозы от медицинских исследований и др...

ИИ составляют 0,05...0,6 мкЗв/год - это естественный фон радиоактивного излучения.

Воздействие ионизирующих излучений на организм человека.

Внешнее излучение действует на весь организм человека.

При воздействии ионизирующих излучений на организм человека возникает ионизация и возбуждение клеток и тканей, что приводит к нарушению их деятельности. Наиболее важные из которых:

1) *соматические эффекты* (нарушение деятельности самого организма, а не его потомства):

- стохастические эффекты (т.е. вероятностные: болезни могут возникнуть, а могут и не возникнуть);

- не стохастические эффекты (болезни обязательно возникают, имеют пороговое значение с ухудшением последствий при увеличении дозы) (пример: лучевой ожог, потемнение хрусталика глаза и др.);

2) *генетические эффекты*.

При ежедневном длительном (несколько месяцев или лет) облучения в дозах превышающих ПДД, у человека развивается хроническая лучевая болезнь (1 стадия - функциональное нарушение центральной нервной системы, повышенная утомляемость, головные боли, снижение аппетита). При однократном облучении всего тела высокими дозами ($>1 \text{ Зв}$) развивается острая лучевая болезнь. При дозе 4...6 Зв - возникает смерть у 50% облученных.

По ионизирующей способности наиболее опасно α излучение, особенно для внутреннего излучения (внутренние органы, проникая с воздухом и пищей).

11.2. Нормирование ионизирующих излучений

Основные нормативные документы:

НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности (Санитарные правила

и нормативы СанПиН 2.6.1.2523 – 09).

ОСПОРБ-99/2010. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10).

В соответствии с НРБ-99/2009 персонал делят на 2 группы лиц:

- *группа А* - это лица, непосредственно работающие с техногенными источниками излучения;

- *группа Б* - это лица, находящиеся по условиям работы в сфере воздействия этих техногенных источников.

Население - это все лица, включая персонал, находящиеся вне работы с источниками ионизирующего излучения.

Облучение производственное - облучение работников от всех техногенных и природных источников ионизирующего излучения в процессе производственной деятельности. Облучение профессиональное - облучение персонала в процессе его работы с техногенными источниками ионизирующего излучения. Для категорий облучаемых лиц установлены основные пределы доз (ПД).

Предел дозы (ПД) - величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы.

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий.

Эффективная доза для персонала (группы А и Б) не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв. При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовые эффективная или эквивалентная дозы так же не должны превышать основных пределов доз (таблица 11.2).

Основные пределы доз (ПД)

| Нормируемые величины | Пределы доз, мЗв/год | | |
|---|--|---|---|
| | Персонал | | Население |
| | группа А | группа Б | |
| Эффективная доза (за год) | 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год | Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы Б, равны: 1/4 значений для персонала группы А. | 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год |
| Эквивалентная доза (за год): - в хрусталике глаза - коже - в кистях и стопах | не более: 150 мЗв/год 500 мЗв/год 500 мЗв/год | (Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих профессиональное обучение с использованием источников излучения, годовые дозы не должны превышать значений, установленных для персонала группы Б) | 15 мЗв/год 50 мЗв/год 50 мЗв/год |

Соблюдение предела годовой дозы **предотвращает** возникновение детерминированных эффектов и снижает вероятность возникновения стохастических эффектов.

Кроме этого регламентированы следующие группы критических органов:

- ✓ *I группа* - это все тело, костный мозг, гонады (вся половая сфера);
- ✓ *II группа* - сердце, легкие и др. внутренние органы, не входящие в группы I и III.
- ✓ *III группа* - кожный покров, кисти, предплечья, стопы и костная ткань.

Основные дозовые пределы, мЗв./год

Основными дозовыми пределами для лиц категории А являются:

Предельно допустимая доза (ПДД) - суммарная эквивалентная доза, накопленная за год, которая в течение последующих 50 лет не вызовет

неблагоприятных изменений в организме человека.

Для категории Б: ПД - предел дозы и ПГП - предел годового поступления нуклидов (см. определение для категории А с учетом изменения срока воздействия до 70 лет).

11.3. Меры защиты от ионизирующих излучений

Основные методы и средства защиты

1. Защита расстоянием.
2. Защита временем.
3. Применение различного рода защитных экранов.
4. Средства индивидуальной защиты (х/б или пластиковая одежда, респираторы и противогазы). Эти средства защиты от α и β -излучений, для γ -излучения - абсолютной защиты нет.

Контроль мощности дозы

Используя расчеты определения фактической (полученной при работе) мощности дозы и расчетной допустимой мощности дозы можно, например, определить, какая величина мощности дозы должна быть в помещении, чтобы обеспечить доступ персоналу категории А в помещения, где размещаются облучательные установки (гамма-терапевтические, дефектоскопические и др.) с целью обеспечения возможности проведения безопасных работ в течение всего года (а это 1700 часов). С помощью прибора становится понятным, какую мощность дозы надо контролировать.

Сравнение фактических и нормируемых величин

Пусть условный работник облучается *гамма или рентгеновским излучением*. В этом случае мощность экспозиционной дозы N_{ϕ} , рассчитанная по формулам, будет равна мощности поглощенной, эквивалентной или эффективной дозы E (и характеризует скорость накопления этих доз в организме).

Поэтому при оценке радиационной обстановки можно сравнивать между собой фактическую мощность экспозиционной дозы N_{ϕ} с мощностью дозового

предела N_d (т.е. с нормой.).

Таким образом, для проведения индивидуального дозиметрического контроля необходимо с помощью индивидуального дозиметра КИД-1 сначала измерить экспозиционную дозу гамма или рентгеновского излучения X_Φ , затем по формулам (11.1) или (11.2) подсчитать значение N_Φ , и сравнить с N_d , рассчитанной по формуле (11.3).

Фактическая мощность экспозиционной дозы N_Φ при равномерном внешнем облучении всего тела (а также при локальном облучении кистей рук) равна мощности эквивалентной дозы $H_{T,R}$ и определяется по формуле:

$$N_\Phi = \frac{10 X_\Phi}{t_\Phi}, \quad (11.1)$$

где N_Φ - фактическая мощность экспозиционной (и эквивалентной) дозы, полученная человеком за время работы, мЗв/ч ($1\text{мЗв} = 100\text{ мР}$);

X_Φ - измеренная по прибору экспозиционная доза облучения, Р;

t_Φ - фактическое условное время пребывания человека в зоне ионизирующего излучения в течение которого проводится замер с помощью КИД-1, ч.

В формуле (11.1) учтено, что *при равномерном* облучении всего тела (и кистей рук) взвешивающие коэффициенты (W_T) для органов и тканей, приведенные в таблице 11.2, *не учитываются* (в этом случае принимается, что $W_T=1$).

Фактическая мощность экспозиционной дозы N_Φ при неравномерном внешнем облучении всего тела работника из персонала будет равна мощности эффективной дозы E и определяется по формуле:

$$N_\Phi = \frac{10 X_\Phi}{t_\Phi} W_T, \quad (11.2)$$

где N_Φ - фактическая мощность экспозиционной (и эквивалентной) дозы, полученная человеком за время работы, мЗв/ч ($1\text{мЗв} = 100\text{ мР}$);

X_Φ - измеренная по прибору экспозиционная доза облучения, Р;

t_Φ - фактическое условное время пребывания человека в зоне

ионизирующего излучения в течение которого проводится замер с помощью КИД-1, ч.

W_T - взвешивающий коэффициент для ткани и органа при расчете эффективной дозы.

Мощность дозового предела (N_d) рассчитывается по формуле:

$$N_d = \frac{ПД}{С \cdot В}, \quad (11.3)$$

где N_d - допустимая мощность дозового предела, мЗв/ч;

ПД - основной дозовый предел, мЗв/год,

С - количество недель в году, проведенных человеком в зоне воздействия ионизирующих излучений;

В - количество часов, проведённых человеком в зоне воздействия ионизирующих излучений (ИИ) за одну неделю.

Произведение $С \cdot В$ характеризует продолжительность облучения за год.

Оно не должно превышать проектной величины:

для персонала категории А — 1700 ч/год;

для персонала категории Б общее время пребывания в зоне воздействия ионизирующих излучений должно быть не более 2000 ч/год.

Расчет показал, что регламентируемая (допустимая) мощность дозы N_d на расстоянии 1 м от оборудования должна быть не более 0,014 мЗв/ч (не более 1,4 мбэр/ч). И эту величину надо постоянно контролировать.

Если окажется, что при выполнении работы фактическая мощность дозы будет **больше** значения N_d , то условия работы и имеющиеся у работника средства защиты не соответствуют требованиям безопасности. В этом случае следует привести меры по снижению вредного действия на работника этого облучения (технические меры, уменьшение времени работы, санитарно-гигиенические мероприятия и т.п.).

Для этого рекомендуется использовать сведения, приведенные в таблице 11.3.

**Рекомендации по снижению действия
ионизирующего излучения на персонал**

| Фактическая мощность дозы, N_{ϕ} мЗв/ч | Рекомендации по защите персонала |
|--|--|
| Пусть она по замерам и расчетам оказалась более значения $N_{\text{д}}$, рассчитанного по формуле (11.3) | <p><u>Организационные меры и защита временем.</u></p> <p>При однократном облучении работника экспозиционной дозой X_{ϕ} величиной 20 мЗв (и более, но не выше 30 мЗв), необходимо дальнейшую работу этого работника организовать таким образом, чтобы за оставшееся время работы (в текущем году) фактическая эффективная (или эквивалентная) доза не превысила значения, равного: $(\text{ПД} - 10 \cdot X_{\phi})$.</p> |
| | <p><u>Защита экранированием</u></p> <p>Защита проводится при необходимости выполнять данную работу при таких значениях N_{ϕ} постоянно.</p> <p>Рекомендуется повысить степень защиты работника в требуемое число раз. Для этого надо снизить дозу облучения с помощью средств индивидуальной защиты, т.е. улучшить качество СИЗ. Или улучшить коллективную защиту, например, в виде различных экранов.</p> <p>Ориентировочное увеличение требуемой степени защиты K будет равно: $K = N_{\phi} / N_{\text{д}}$</p> |

Проектирование средств защиты от внешнего ионизирующего излучения, рассчитанные по мощности экспозиционной дозы, должно осуществляться с коэффициентом защиты равным 2.

Средства коллективной и индивидуальной защиты от ионизирующего излучения

В соответствии с ГОСТ [3] *коллективные средства* защиты от ионизирующего облучения можно классифицировать как:

- средства защиты от внешнего облучения;
- средства защиты от внутреннего облучения;
- средства защиты от комбинированного (внешнего + внутреннего облучения);
- средства защиты общего применения.

Средства коллективной защиты можно условно разделить на две группы:

1. Оградительные устройства:

- сухие (стационарные и передвижные);
- жидкостные;
- смешанные.

2. Предупредительные устройства:

- дисциплинирующие барьеры;
- ограничительные барьеры.

Защитные покрытия в зависимости от применяемых ионизирующих материалов подразделяются на:

- лакокрасочные;
- полимерные;
- металлические;
- керамические;
- стеклянные.

Средства защиты общего применения подразделяются на:

- устройства автоматического контроля;
- устройства дистанционного управления (устройства блокировок, устройства сигнализации);
- средства защиты при транспортировании и временном хранении радиоактивных веществ (контейнеры, упаковочные комплекты);;
- знаки безопасности (знак радиационной опасности, предупредительные надписи);
- емкости для радиоактивных отходов (для жидких и твердых бытовых отходов).

Для защиты от быстрых нейтронов используется графит, а также водородосодержащие вещества (вода, пластмассы, полиэтилен, парафин). Защита из воды конструктивно выполняется в виде секционных баков из стали и других материалов.

Для защиты от тепловых нейтронов применяются соединения с бором – борный графит, карбид бора, борная сталь, а также кадмий и бетон на основе оксида железа.

Гамма-излучение наиболее эффективно ослабляется материалами с большим атомным номером и высокой плотностью: свинец, сталь, бетон на основе природного оксида железа (магнитный железняк), свинцовое стекло.

Для комбинированной защиты от нейтронов и гамма-излучения используют смеси тяжелых материалов с водой или водородосодержащими материалами, а также экраны, состоящие из нескольких слоев из тяжелых и легких материалов (свинец-полиэтилен, железо-вода и др.).

Толщина защитных экранов определяется в первую очередь интенсивностью излучения, расстоянием персонала от источника и временем пребывания в зоне воздействия излучения. Толщина экрана так же зависит от материала экрана.

Зоны, где осуществляется работа с ионизирующими источниками, должны содержать знаки радиационной опасности (рисунок 11.1).



Рисунок 11.1 – Знаки радиационной опасности

На знаках может размещать дополнительная надпись, поясняющий характер излучения, например «Рентгеновское излучение», «Радиоактивное загрязнение» и др.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) предназначены для обеспечения безопасности каждого работающего.

В зависимости от интенсивности излучения, расстояния работника до источника излучения, временем пребывания в зоне воздействия излучения и ряда других условий работ используются СИЗ:

- изолирующие костюмы (пневмокостюмы, гидроизолирующие

костюмы, скафандры);

- средства защиты органов дыхания (респираторы, противогазы, пневмошлемы, пневмомаски, пневмокуртки);
- специальная защитная одежда (костюмы, фартуки, комбинезоны, халаты, куртки, брюки, жилеты, плащи, сарафаны и т.п.);
- средства защиты ног или спецобувь (сапоги, полусапоги, ботинки, полуботинки, туфли, галоши, боты, тапочки, унты и т.п.);
- средства защиты рук (рукавицы, перчатки, полуперчатки, напальчники, наладонники, напульсники, нарукавники, налокотники);
- средства защиты головы (защитные каски, шлемы, шапки, береты и др.);
- средства защиты глаз (защитные очки);
- средства защиты лица (защитные лицевые щитки);
- средства защиты органов слуха (противошумные шлемы, наушники и вкладыши);
- средства защиты от падения с высоты и другие предохранительные средства (предохранительные пояса, тросы; ручные захваты, манипуляторы; наколенники, налокотники, наплечники);
- защитные дерматологические средства (очистители кожи, защитные мази и др.).

Дополнительная литература

1. ОСП-72/87 Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений.
2. Свод правил СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
3. ГОСТ 12.4.120–83 «ССБТ. Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие технические требования».