

# Практическое занятие № 3

Тема: Определение эквивалентных  
доз облучения для тканей  
организма

Цель занятия: изучить методику  
расчёта эквивалентных доз  
облучения

# Порядок выполнения

Эквивалентные дозы для органов  
рассчитываются по формуле:

$$H = D \cdot W_R$$

$W$ - взвешивающий коэффициент;

$D$  - поглощенная доза, мЗв.

Для населения за весь период жизни  
допустимо не более 70 мЗв, для персонала  
группы А не более 1000 мЗв.

## Эквивалентная доза

**Эквивалентная доза** служит для характеристики биологического действия различных видов ионизирующих излучений.

Различие в величине радиационного воздействия можно учесть, приписав каждому виду излучений свой **взвешивающий коэффициент**  $W_R$  (коэффициент качества) излучения.

$$H = D \cdot W_R$$

**Эквивалентная доза ( $H$ )** – это поглощенная доза, умноженная на взвешивающий коэффициент  $W_R$  излучения, который отражает способность данного вида излучения повредить ткани организма.

**Коэффициент  $W_R$**  характеризует степень разрушительного действия на биологический объект и показывает во сколько раз данный вид излучения по биологической эффективности больше, чем рентгеновское излучение при одинаковой поглощенной дозе.

## Определение эквивалентных доз облучения для тканей организма

**Эквивалентная доза** ( $H$ ) характеризует биологический эффект облучения организма ионизирующим излучением.

**Поглощённая доза** — величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу. Выражается как отношение энергии излучения, поглощённой в данном объёме, к массе вещества в этом объёме.

# Формула

Поглощенная доза излучения  $D$  равна отношению поглощенной телом энергии  $E$  к его массе  $m$ :

$$D = \frac{E}{m}$$

**Поглощенная доза** введена как основная дозиметрическая величина, которая является мерой энергии, переданной ионизирующим излучением веществу.

Единица поглощенной дозы – **Грей (Гр)**, это такая поглощенная доза когда веществу массой в 1 кг передается энергия в 1 Дж,

$$1\text{Гр} = 1 \text{ Дж/кг.}$$

Названа по имени английского физика Л. Грея.

Внесистемная единица поглощенной дозы – **рад**  
(rad - radiation adsorbed dose)

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад.}$$

Экспозиционной дозе **1 Р** соответствует поглощенная доза

$D = 0,87 \text{ рад}$  в воздухе или

$D = 0,96 \text{ рад}$  в биологических тканях.

\*

## Определение эквивалентных доз облучения для тканей организма

**Взвешивающий коэффициент** для тканей и органов при расчете эффективной дозы ( $W_T$ ) — множители дозы в органах и тканях, используемые в радиационной защите для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации (при равномерном облучении всего тела).

# Взвешивающие коэффициенты $W_R$ для разных видов излучений

Вид излучения и диапазон энергии	$W_R$
Рентгеновское и $\gamma$ - излучение (фотоны)	1
$\beta$ -Излучение (электроны и позитроны)	1
Нейтроны с энергией <10 кэВ	5
Нейтроны с энергией от 10 до 100 кэВ	10
$\alpha$ -Частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20



Единицей измерения **эквивалентной дозы** является **джоуль на килограмм**, и она имеет специальное наименование **Зиверт (Зв)**.

Единица эквивалентной дозы названа по имени шведского ученого Р. Зиверта первого председателя МКРЗ.

Внесистемная единица эквивалентной дозы – **бэр**.

**бэр** – биологический эквивалент рада - доза любого вида ионизирующего излучения, производящая такое же биологическое действие, как и доза рентгеновских или гамма-лучей в 1рад.

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$$

В тканях с погрешностью в **5%** экспозиционную дозу в рентгенах - **Р** и поглощенную дозу в **радах** можно считать одинаковыми.

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр} \approx 100 \text{ рад} \approx 100 \text{ Р.}$$

$$1 \text{ мкЗв} \approx 100 \text{ мкР.}$$



Rolf Maximilian Sievert

# Эффективная

Органы и биологические ткани имеют ~~до~~ разную радиочувствительность. В первую очередь поражаются: красный костный мозг, толстый кишечник, легкие, желудок, молочная железа. Учет радиочувствительности производят с помощью взвешивающего коэффициента  $w_T$  для тканей и органов.

**Эффективная доза** – сумма эквивалентной дозы, умноженной на коэффициент  $w_T$ , учитывающий разную радиочувствительность различных тканей к облучению.

$$E = \sum_{i=1}^n W_{Ti} \cdot H_{Ti}$$

**Взвешивающий коэффициент  $w_T$  (коэффициент радиационного риска)** показывает отношение риска облучения данного органа или ткани к суммарному риску при равномерном облучении всего тела.

## Взвешивающие коэффициенты $w_T$ (коэфф. радиационного риска) при равномерном облучении всего тела

Ткани или орган	$w_T$	Ткани или орган	$w_T$
1. Красный костный мозг	0,12	9. Пищевод	0,04
2. Толстый кишечник	0,12	10. Печень	0,04
3. Легкие	0,12	11. Щитовидная железа	0,04
4. Желудок	0,12	12. Костная поверхность	0,01
5. Молочная железа	0,12	13. Кожа	0,01
6. Остальные ткани*	0,12	14. Головной мозг	0,01
7. Гонады	0,08	15. Слюнные железы	0,01
8. Мочевой пузырь	0,04	<b>ВСЕГО</b>	<b>1,0</b>

\* Ост. ткани: надпочечники, ткани экстрагепатобиллиарного отдела, жёлчный пузырь, сердце, почки, лимфоузлы, мышечная ткань, слизистая полости рта, поджелудочная железа, тонкий кишечник, селезёнка, тимус, предстательная железа (мужчины), матка/шейка матки (женщины).

\*

# Коллективная доза

При воздействии излучения на определенное количество людей (коллектив) необходимо определить ожидаемый эффект от их коллективного облучения. Для этой цели применяется *коллективная доза* (для  $N$  человек).

*Коллективная эффективная доза  $S$*  – мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения и равна сумме индивидуальных эффективных доз всех групп людей  $N = \sum N_i$ , в каждой из которых отдельный человек получил эффективную дозу  $E_i$  за данный промежуток времени

$$S = \sum_i N_i \cdot E_i$$

где  $N_i$  – количество людей в группе (коллективе);

Единицей измерения коллективной дозы в СИ является *человеко-зиверт (чел.-Зв)*.

Внесистемная единица – *человеко-бэр (чел.-бэр)*.

## Определение эквивалентных доз облучения для тканей организма

- **Для населения** за весь период жизни допустимо не более 70 мЗв, для персонала группы А не более 1000 мЗв.
- Согласно **нормам радиационной безопасности** НРБ-99/2010, к персоналу группы А относятся лица, **работающие с техногенными ИИИ**. Годовая эффективная доза персонала группа А, усредненная за любые последовательные 5 лет (но не более 50 мЗв в год) – 20 мЗв.

# Определение эквивалентных доз облучения для тканей организма

## ■ Пример выполнения задания 1.

Эффективная доза для населения - 0,8 мЗв в год. Эффективная доза для персонала - 16 мЗв в год. Значение взвешивающего коэффициента для органов: гонады - 0,08, костный мозг-0,12; лёгкие, желудок-0,12, щитовидная железа – 0,04, кожа - 0,01.

# Определение эквивалентных доз облучения для тканей организма

1. Определяем эквивалентные дозы для органов по формуле:

$$H = W \cdot D \quad (8)$$

W- взвешивающий коэффициент; D - погашенная доза, мЗв.

Для населения:

$$H_{\text{КМ}} = 0,8 \cdot 0,12 = 0,096 \text{ мЗв};$$

$$H_{\text{ЩЖ}} = 0,8 \cdot 0,04 = 0,032 \text{ мЗв};$$

$$H_{\text{К}} = 0,8 \cdot 0,01 = 0,008 \text{ мЗв}$$

Для персонала:

$$H_{\text{КМ}} = 16 \cdot 0,12 = 1,92 \text{ мЗв};$$

$$H_{\text{ЩЖ}} = 16 \cdot 0,04 = 0,64 \text{ мЗв};$$

$$H_{\text{К}} = 16 \cdot 0,01 = 0,16 \text{ мЗв}$$

Эффективные дозы для персонала и населения:

$$H_{\text{II}} = 16 \cdot 50 = 800 \text{ мЗв};$$

$$H_{\text{II}} = 0,8 \cdot 70 = 56 \text{ мЗв};$$

## Определение эквивалентных доз облучения для тканей организма

*Вывод:* Полученные **дозы ионизирующего облучения** не превышают норм, указанных в НРБ - 99 (для персонала 1000 мЗв, для населения 70 мЗв).

Полученные эквивалентные дозы для органов также не выходят за пределы норм НРБ - 99 (для персонала 150 - 500 мЗв/год, для населения 15-50 мЗв/год).



# Определение эквивалентных доз облучения для тканей организма

**Задание 1.** Определить эквивалентные дозы ионизирующего облучения для костного мозга, лёгких и кожи, а также эффективные дозы для персонала за 50 лет и для населения за 70 лет при следующих данных.

Эффективная доза для населения  $0,0054$  мЗв/сутки, эффективная доза для персонала -  $0,066$  мЗв/сутки.

Определить, соответствуют ли полученные дозы облучения НРБ - 99.



# Определение эквивалентных доз облучения для тканей организма

## Вопросы для самоконтроля

Какова эффективная доза ионизирующих излучений для населения за период жизни?

Какова эффективная доза ионизирующих излучений для персонала группы А за период жизни?

Какие органы человеческого тела наилучшим образом сопротивляются ионизирующим излучениям?

Какой документ регламентирует дозы эффективной радиации для производственного персонала и населения?

Какова единица измерения эффективной дозы ионизирующих излучений?

## Защита от ионизирующих излучений.

По воздействию на человека все источники излучения можно разделить на две группы:

**Закрытые источники** – рентгеновские установки, ускорители, ядерные реакторы, закрытые радиоактивные препараты.

При их использовании (если радионуклиды не попадают в окружающую среду) персонал может подвергаться только **внешнему** облучению.

Человек подвергается облучению только во время нахождения в опасной зоне вблизи самих источников.

**Открытые источники** – радиоактивные вещества, распределенные в среде (в почве, воде, воздухе) или находящиеся на поверхности предметов, с которыми соприкасается человек.

Действие связано с **внешним облучением** и попаданием радиоактивных веществ внутрь организма (**внутреннее облучение**) и не может быть прекращено с выходом человека из опасной зоны.

Человек может подвергаться воздействию ИИ в течение того промежутка времени, пока радионуклиды не будут выведены из организма или радиоактивного распада.

## Защита поглощающими экранами и сооружениями.

Уменьшение интенсивности ионизирующих излучений происходит в результате взаимодействия с веществом.

Защитные свойства поглощающих экранов характеризуются краткостью ослабления  $K_{осл}$ , под которой понимается отношение мощности дозы падающих на экран излучений к мощности дозы излучений, прошедших через экран

$$K_{осл} = \frac{X_0}{X}$$

Слой вещества, при прохождении которого число  $\gamma$ -квантов в направлении их первоначального распространения уменьшается в два раза по сравнению с числом упавших на это вещество квантов, **называется слоем половинного ослабления  $d_{1/2}$** .

$$d_{1/2} = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu ,$$

где  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления материала.

Вода  $d_{1/2} = 13$  см; Бетон  $d_{1/2} = 5,6$  см; Дерево  $d_{1/2} = 19$  см; Свинец  $d_{1/2} = 1,3$  см.

## Защита путем ограничения времени облучения.

Доза, воздействующая на организм, равна произведению мощности дозы на время  $t$  действия излучений:

$$D \text{ (H)} = D \text{ (H)} \cdot t$$

Чтобы облучение оставалось в пределах допустимой дозы  $D_{\text{доп}}$ , допустимое время  $t_{\text{доп}}$  не должно превышать величины

$$t_{\text{доп}} = D_{\text{доп}} / D_t$$

Соблюдение этого условия позволяет надежно защитить организм от поражения.

## Защита расстоянием.

Мощность дозы  $X$ , создаваемая точечным источником с активностью  $A$  на некотором расстоянии  $R$  от источника, обратно пропорциональна квадрату расстояния:

$$X = A/R^2$$

В соответствие с уравнением:

если увеличить расстояние  $R$  между источником и объектом облучения в **два раза**, воздействующая на него мощность дозы  $X$  уменьшится **в четыре раза**.

Во столько же раз уменьшится при том же времени облучения и получаемая объектом доза:

$$D = (X \cdot t)/R^2.$$

## Применение индивидуальных средств защиты.

При работе с открытыми радиоактивными веществами, а также на местности, загрязненной радиоактивными веществами, применяются **индивидуальные средства защиты:**

- противогазы,
- респираторы,
- специальная одежда,
- защитные перчатки.

Кроме того, при работе с открытыми радиоактивными веществами используются вытяжные шкафы и закрытые камеры с защитными перчатками.

Эти средства применяются для того, чтобы предохранить организм от попадания в него радиоактивных веществ.

## Защита применением химических средств.

Предупредить поражение организма ионизирующими излучениями можно с помощью некоторых химических веществ называемых *радиопротекторами*, отнесенные к двум классам химических соединений:

*Амиотиолы*

*Индолилалкиламины*

К ним относятся *цистамин, меркаптоэтилгуандин* и другие, сходные с ними, вещества.

Защитное действие этих веществ проявляется, если их ввести в организм, за от 5-15 до 30 мин до облучения.

Механизм действия защитных веществ объясняется тем, что они, вступая в реакцию с образовавшимися под действием излучений радикалами, предупреждают образование активных перекисей.

С помощью химических веществ действие ионизирующих излучений на организм **ослабляется примерно в два раза.**