

2.2.1. Доза в нормативных документах

Поглощенная доза — основная физическая дозиметрическая величина - не полностью отвечает целям радиационной защиты, поскольку степень повреждения тканей тела человека различна для различных видов ионизирующих излучений. При оценке радиобиологических эффектов приходится учитывать такие факторы, как существенное влияние типа излучения на биообъекты и существенно различный отклик различных органов живого организма на равномерное облучение одним и тем же излучением всего организма. Не менее существенным является понятие «критический орган». И, наконец, в радиобиологии приходится учитывать дозу, полученную конкретным индивидуумом, и популяцией в целом.

Поэтому в нормативных документах по радиационной безопасности поглощенная доза, усредненная по ткани или органу, умножается на весовой множитель излучения для учета эффективности данного вида излучения с точки зрения индуцирования биологических эффектов; полученная величина называется эквивалентной дозой. Величина "**эквивалентная доза**" используется в тех случаях, когда происходит облучение отдельных органов или тканей, однако вероятность стохастического эффекта поражения в результате получения определенной эквивалентной дозы различна для разных органов и тканей. Вследствие этого эквивалентная доза для каждого органа и ткани умножается на тканевый весовой множитель, что позволяет учесть радиочувствительность этого органа. Общая сумма таких взвешенных эквивалентных доз для всех облученных тканей человека называется **эффективной дозой**. Для измерения эквивалентной и эффективной доз используется та же единица, что и для поглощенной дозы, т.е. джоуль на килограмм, но для того чтобы было удобно отличать ее от единицы поглощенной дозы (Гр), она называется "**зиверт (Зв)**".

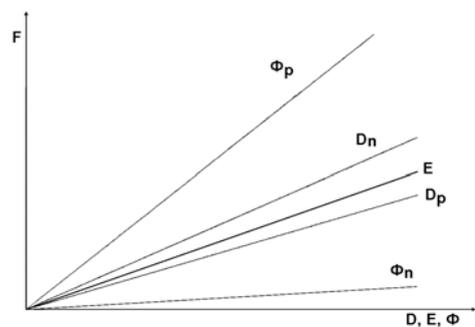


Рис. 3. Зависимость частоты эффекта (F) от флюенса частиц (Φ), их поглощенной дозы (D) или эффективной дозы (E) при облучении протонами (p) или нейтронами (n)

Частота ожидаемого радиобиологического эффекта (F) прямо пропорциональна количеству излучения (поглощенной дозе, D , количеству частиц или квантов, Φ , эффективной дозе, E), которое вызвало этот эффект, но абсолютный эффект зависит именно от типа излучения. На **Рис.3** приведены соответствующие зависимости для протонов (p) и нейтронов (n) (объектом облучения является клетка млекопитающего в случаях Φ и D). Видно, что для одного и того же флюенса частиц, падающих на клетку в случае протонов (Φ_p), частота эффекта много больше ($\approx 10^4$), чем в случае нейтронов. Разница в частоте эффекта резко снижается если количество ионизирующего излучения измерять поглощенной дозой (D). Наконец, частота эффекта становится детерминировано равной как для протонов, так и для нейтронов, если количество излучения определять в единицах эффективной дозы (E).

После поступления радионуклидов в организм человека доза формируется в течение всего периода времени их нахождения в организме. Ожидаемой дозой называется суммарная доза, получаемая в течение этого периода; она рассчитывается как временной интеграл мощности дозы. Любое соответствующее ограничение дозы применяется в отношении ожидаемой дозы от поступивших в организм радионуклидов.

Общее радиационное воздействие в результате осуществления определенной практической деятельности или использования источника зависит от числа облученных людей и от получаемых ими доз. **Коллективная доза**, определяемая как сумма произведений от умножения средних доз, полученных различными группами подвергшихся воздействию ионизирующих излучений людей, на число людей в каждой группе, может, таким образом, использоваться для характеристики радиационного воздействия в результате осуществления практической деятельности или использования источника. Единицей коллективной дозы является человеко-зиверт (чел.-Зв).

Доза облучения характеризует количество облучения, которое было воспринято облученным организмом. Различают: ионную, энергетическую и - эквивалентную дозу облучения. Для людей особенно важной в связи с радиационной нагрузкой и радиационными поражениями является эквивалентная доза и рассчитываемая на ее основе коллективная доза. Доза облучения, которая воспринята человеческим организмом в целом, называется *дозой облучения для всего тела*. В случае отдельных органов говорят о дозе облучения для органа, а в случае яичников и семенников - о дозе для половых желез.

Замечание. При облучении живых тканей, результат воздействия излучения (так называемый **радиобиологический эффект**) зависит не только от количества энергии, которое отдает излучение атомам живой среды, но и от плотности ионизации - количества пар ионов, которые образуются вдоль направления прохождения пучка излучения. Например, легкий электрон, попав внутрь вещества, ионизирует на своем пути

далеко не каждый атом - столкнувшись с одним атомом, он минует сотни других атомов, пока не столкнется с каким-нибудь еще, превращая и его в ион. Не так обстоит дело с более тяжелыми частицами. Например, протон, который почти в 2000 раз тяжелее электрона, на своем пути ионизирует практически все встречающиеся атомы.

Для учета дополнительной характеристики облучения - плотности ионизации атомов на своем пути – был введен специальный *коэффициент относительной биологической эффективности* ($K_{ОБЭ}$). С его помощью удалось сравнить радиобиологические эффекты, производимые разными типами излучения в одной и той же среде при равных количествах энергии, поглощаемой средой (при равных поглощенных дозах). Этот коэффициент характеризует способность излучения данного вида воздействовать на ткани организма, т.е. говорит об относительной биологической эффективности разных излучений. Этот коэффициент зависит в основном от ЛПЭ излучения.

Замечание. Степень влияния на среду, например, нейтронного потока может быть эквивалентна воздействию на среду пучка γ -квантов. Скажем, некоторый процесс происходит в органическом веществе при поглощенной дозе гамма-лучей в 2 Гр. Тот же процесс с теми же параметрами в той же среде может быть вызван и быстрыми нейтронами, но в этом случае достаточно поглощенной дозы в 0,2 Гр. Таким образом, для нейтронов $K_{ОБЭ} = 10$. Так возникает новое понятие дозиметрии - эквивалентная доза.

При определении коэффициента $K_{ОБЭ}$, который равен отношению поглощенных доз разных типов излучений, какое-то из излучений приходится считать эталонным. Если его воздействие на среду полагать равным некоторой условной единице, то воздействие другого типа облучения будет отличаться в $K_{ОБЭ}$ раз. В качестве эталонного принято моноэнергетическое - 200 кВ рентгеновское излучение. Для γ -излучения и β -электронов коэффициент относительной биологической эффективности равен 1, для протонов и быстрых нейтронов - от 3 до 10, для альфа-частиц и тяжелых ионов $K_{ОБЭ}$ равен 20.

Замечание. Термин ОБЭ быстро заменили на оценочный коэффициент (K), потом – на коэффициент качества излучения (K_K) и, наконец, на взвешивающий коэффициент для данного вида излучения, W . Чем одно определение лучше другого понятно только авторам новаций.

Согласно новым Санитарным Правилам России, ОСП, в сфере радиационной безопасности, для оценки возможного ущерба здоровью человека, животных и растений в условиях **хронического** облучения, используется понятие **эквивалентной дозы**.

Замечание. Российские НРБ и ОСП базируются на международных нормах ОНБ, изложенных в публикации № 115 Серии изданий Международного агентства по атомной энергии: **Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасности обращения с источниками излучения**, МАГАТЭ, Вена, 1997.

Дозиметрическими величинами, рекомендованными для целей радиологической защиты, в которых в ОНБ выражаются дозовые пределы, являются эффективная доза облучения E и эквивалентная доза H_T на ткань или орган T . Основными физическими величинами являются флюенс частиц ϕ , керма K и поглощенная доза D .

Рабочими величинами для мониторинга рабочих зон являются эквивалент амбиентной дозы $H^*(d)$ и эквивалент направленной дозы $H'(d, \Omega)$, а величиной для индивидуального мониторинга является эквивалент индивидуальной дозы $H_p(d)$. Концептуальную связь между этими величинами демонстрирует **Рис. 4**.

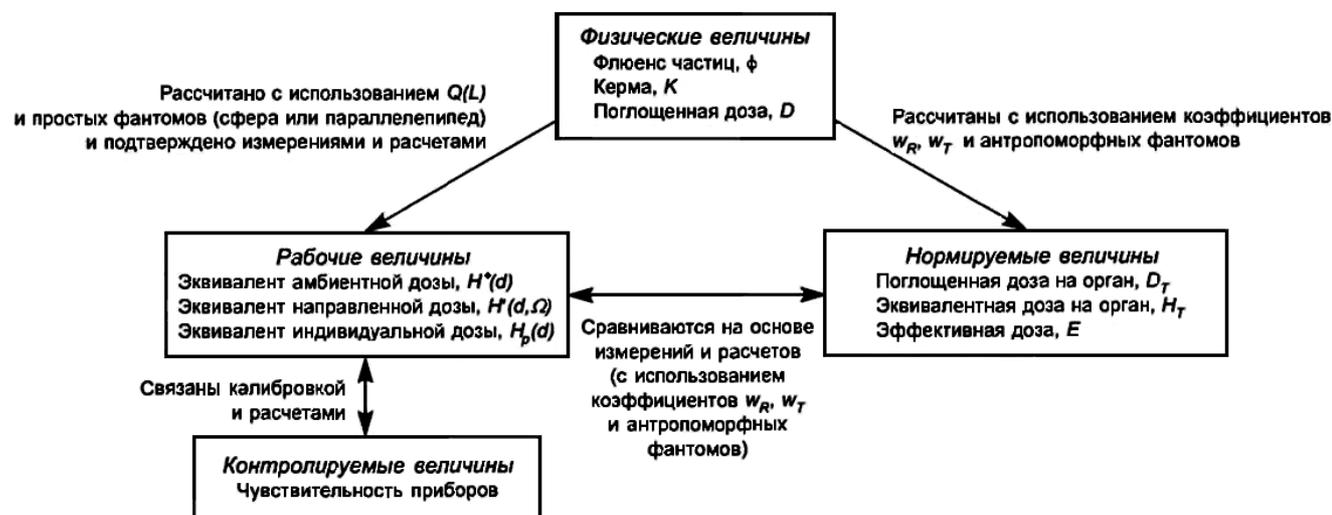


Рис.4 Соотношение дозиметрических величин для целей радиологической защиты