

# 1. ТЕРМИНОЛОГИЯ

Разработкой терминологии дозиметрии в международном масштабе занималась Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ), в СССР - Комитет научно-технической терминологии, КНТТ АН СССР. Принятая в России терминология в области радиационной безопасности и дозиметрии ионизирующих излучений основана на международных стандартах, рекомендациях Международным агентством по атомной энергии, МАГАТЭ и Международной комиссией по радиационной защите, МКРЗ. Эти рекомендации были реализованы в отечественных ГОСТах, терминах и определениях, изложенных в НРБ-99, ОСПОРБ-99, ОПБ-88/97 и др. нормативных документах.

Единая международная система единиц (международное сокращенное наименование — SI, в русской транскрипции — СИ) принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) и уточнена на последующих ГКМВ.

В любой стране терминология и единицы физических величин в конкретной сфере (в том числе – дозиметрии и радиационной безопасности) определяются государственными стандартами – ГОСТ. В СССР ГОСТ 9867-61 «Международная система единиц» с 1963 г. установил применение единиц СИ как предпочтительных. В 1981 г. на основе стандарта СЭВ утвержден ГОСТ 8.417-81 (Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин), вступивший в действие в 1.01.1982. Он ввел в действие в СССР Международную систему единиц физических величин как обязательную. Выпущенный позднее (01.01.85) документ РД 50-454-84 «Методические указания. Внедрение и применение ГОСТ 8.417-81 "ГСИ. Единицы физических величин" в области ионизирующих излучений» определил порядок внедрения и применения в СССР в области ионизирующих излучений совокупности единиц физических (радиационных) величин, установленных ГОСТ 8.417-81». В настоящее время ГОСТ 8.417 – государственный стандарт устанавливает единицы измерения, применяемые в Российской Федерации и в некоторых других странах, входивших ранее в СССР. В стандарте определены наименования, обозначения и правила применения этих единиц.

В России с 1.09.2003 года действует «ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы величин», заменивший «ГОСТ 8.417-81 ГСИ. Единицы физических величин». С учетом этих ГОСТов строятся основные нормативные документы, например, «Нормы радиационной безопасности», «Санитарные правила» и др.

Замечание. Приведем некоторые свежие документы, имеющие некоторое отношение к рассматриваемой здесь тематике. ГОСТ Р 1.5-2002 ГСС РФ. Стандарты. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению; ГОСТ Р 8.563-96\* ГСИ. Методики выполнения измерений; ГОСТ Р 8.594-2002 ГСИ. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения; МУ 64-02-002-2002 Организация и порядок проведения метрологической экспертизы нормативной документации; Р 50-106-88 Рекомендации. Порядок проведения научно-технической экспертизы стандартов и технических условий

Введение ГОСТ 8.417-81 изъело из обращения все основные широко использовавшиеся ранее в области ионизирующих излучений и радиационной защиты внесистемные единицы активности и дозовых характеристик 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  $\gamma$ -эквивалента и производные от них единицы, такие, как  $\text{p}\cdot\text{cm}/(\text{ч}\cdot\text{мКи})$  для гамма-постоянной. Все же было разрешено применять без ограничения срока внесистемную единицу энергии электронвольт (эВ) и ее десятичные кратные единицы, такие, как кэВ, МэВ, ГэВ.

На практике, выполнить эти рекомендации оказалось достаточно трудно – все учебники, методические пособия, задачки, справочники построены на старых, внесистемных единицах. На этих же единицах строятся расчеты доз и защиты. Поэтому мы в данном курсе лекций будем рассматривать как единицы системы СИ, так и внесистемные единицы.

## 1.1 Основные понятия дозиметрии по НРБ

В качестве примера современной терминологии приведем соответствующую выдержку из Норм радиационной безопасности России, НРБ-99 (в ОСПОРБ – дана та же терминология). Таблицы из словаря убраны и перенесены в основной текст лекции.

**1. Авария радиационная проектная** - авария, для которой проектом определены исходные и конечные состояния радиационной обстановки и предусмотрены системы безопасности.

**2. Активность (A)** - мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии в данный момент времени:

$$A = \frac{dN}{dt}$$

где  $dN$  - ожидаемое число спонтанных ядерных превращений из данного энергетического состояния, происходящих за промежуток времени  $dt$ . Единицей активности является беккерель (Бк).

*Активность радиоактивного вещества - это количество атомных ядер, распадающихся за одну секунду, или число актов распада в секунду (скорость радиоактивного распада).*

Используемая ранее внесистемная единица активности кюри (Ки) составляет  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк.

**3. Активность минимально значимая (МЗА)** - активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов госсанэпиднадзора на использование этих источников, если при этом также превышено значение минимально значимой удельной активности.

**4. Активность минимально значимая удельная (МЗУА)** - удельная активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов госсанэпиднадзора на использование этого источника, если при этом также превышено значение минимально значимой активности.

**5. Активность удельная (объемная)** - отношение активности  $A$  радионуклида в веществе к массе  $m$  (объему  $V$ ) вещества:

$$A_m = \frac{A}{m} \quad \text{или} \quad A_v = \frac{A}{V}$$

Единица удельной активности - беккерель на килограмм, Бк/кг. Единица объемной активности - беккерель на метр кубический, Бк/м<sup>3</sup>.

**6. Активность эквивалентная равновесная объемная (ЭРОА) дочерних продуктов изотопов радона -  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{220}\text{Rn}$**  - взвешенная сумма объемных активностей короткоживущих дочерних изотопов радона -  $^{218}\text{Po}$  (RaA);  $^{214}\text{Pb}$  (RaB);  $^{214}\text{Bi}$  (RaC);  $^{212}\text{Pb}$  (ThB);  $^{212}\text{Bi}$  (ThC) соответственно:

$$(\text{ЭРОА})_{\text{Rn}} = 0,10 A_{\text{RaA}} + 0,52 A_{\text{RaB}} + 0,38 A_{\text{RaC}}$$

$$(\text{ЭРОА})_{\text{Th}} = 0,91 A_{\text{ThB}} + 0,09 A_{\text{ThC}},$$

где  $A_i$  - объемные активности дочерних изотопов радона.

**7. Вещество радиоактивное** - вещество в любом агрегатном состоянии, содержащее радионуклиды с активностью, на которые распространяются требования настоящих Норм и Правил.

**8. Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы ( $W_R$ )** - используемые в радиационной защите множители поглощенной дозы, учитывающие относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.

**9. Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы ( $W_T$ )** - множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые в радиационной защите для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации.

**10. Вмешательство** - действие, направленное на снижение вероятности облучения, либо дозы или неблагоприятных последствий облучения.

**11. Группа критическая** - группа лиц из населения (не менее 10 человек), однородная по одному или нескольким признакам - полу, возрасту, социальным или профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию по данному пути облучения от данного источника излучения.

**12. Дезактивация** - удаление или снижение радиоактивного загрязнения с какой-либо поверхности или из какой-либо среды.

**13. Доза поглощенная ( $D$ )** - величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу:

$$D = \frac{\overline{dE}}{dm},$$

где  $\overline{dE}$  - средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме, а  $dm$  - масса вещества в этом объеме.

Энергия может быть усреднена по любому определенному объему, и в этом случае средняя доза будет равна полной энергии, переданной объему, деленной на массу этого объема. В единицах СИ поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм ( $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ ), и имеет специальное название - грей (Гр). Используемая ранее внесистемная единица рад равна 0,01 Гр.

**14. Доза в органе или ткани ( $D_T$ )** - средняя поглощенная доза в определенном органе или ткани человеческого тела:

$$D_T = \frac{1}{m_T} \int D * dm,$$

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

**15. Доза эквивалентная ( $H_{T,R}$ )** - поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения,  $W_R$ :

$$H_{T,R} = W_R * D_{T,R},$$

где  $D_{T,R}$  - средняя поглощенная доза в органе или ткани  $T$ , а  $W_R$  - взвешивающий коэффициент для излучения  $R$ .

При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения.

$$H_T = \sum_R H_{T,R}$$

Единицей эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

**16. Доза эффективная ( $E$ )** - величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T W_T * H_T,$$

где  $H_T$  - эквивалентная доза в органе или ткани  $T$ , а  $W_T$  - взвешивающий коэффициент для органа или ткани  $T$ .

Единица эффективной дозы - зиверт (Зв).

**17. Доза эквивалентная,  $H_T(\tau)$ , или эффективная,  $E(\tau)$ , ожидаемая при внутреннем облучении** - доза за время  $\tau$ , прошедшее после поступления радиоактивных веществ в организм:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} H_T(t) dt$$
$$E(\tau) = \sum_T W_T * H(\tau),$$

где  $t_0$  - момент поступления, а  $H_T(t)$  - мощность эквивалентной дозы к моменту времени  $t$  в органе или ткани  $T$ .

Когда  $\tau$  не определено, то его следует принять равным 50 годам для взрослых и  $(70-t_0)$  - для детей.

**18. Доза эффективная (эквивалентная) годовая** - сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год. Единица годовой эффективной дозы - зиверт (Зв).

**19. Доза эффективная коллективная** - мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения; она равна сумме индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной коллективной дозы - человеко-зиверт (чел.-Зв).

**20. Доза предотвращаемая** - прогнозируемая доза вследствие радиационной аварии, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями.

**21. Загрязнение радиоактивное** - присутствие радиоактивных веществ на поверхности, внутри материала, в воздухе, в теле человека или в другом месте, в количестве, превышающем уровни, установленные настоящими Нормами и Правилами.

**22. Загрязнение поверхности неснимаемое (фиксированное)** - радиоактивные вещества, которые не переносятся при контакте на другие предметы и не удаляются при дезактивации.

**23. Загрязнение поверхности снимаемое (нефиксированное)** - радиоактивные вещества, которые переносятся при контакте на другие предметы и удаляются при дезактивации.

**24. Захоронение отходов радиоактивных** - безопасное размещение радиоактивных отходов без намерения последующего их извлечения.

**25. Зона наблюдения** - территория вокруг радиационного объекта за пределами санитарно-защитной зоны, где проводится радиационный контроль и на которой при возникновении проектной радиационной аварии может потребоваться проведение мер защиты населения.

**26. Зона радиационной аварии** - территория, где уровни облучения населения или персонала, обусловленные аварией, могут превысить пределы доз, установленные для нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения.

**27. Источник ионизирующего излучения** - (в рамках данного документа - источник излучения) радиоактивное вещество или устройство, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение, на которое распространяется действие настоящих Норм и Правил.

**28. Источник излучения природный** - источник ионизирующего излучения природного происхождения, на который распространяется действие настоящих Норм и Правил.

**29. Источник излучения техногенный** - источник ионизирующего излучения специально созданный для его полезного применения или являющийся побочным продуктом этой деятельности.

- 30. Источник радионуклидный закрытый** - источник излучения, устройство которого исключает поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан.
- 31. Источник радионуклидный открытый** - источник излучения, при использовании которого возможно поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду.
- 32. Категория объекта радиационного** - характеристика объекта по степени потенциальной опасности объекта для населения в условиях его нормальной эксплуатации и при возможной аварии.
- 33. Квота** - часть предела дозы, установленная для ограничения облучения населения от конкретного техногенного источника излучения и пути облучения (внешнее, поступление с водой, пищей и воздухом).
- 34. Класс работ** - характеристика работ с открытыми источниками ионизирующего излучения по степени потенциальной опасности для персонала, определяющая требования по радиационной безопасности в зависимости от радиотоксичности и активности нуклидов.
- 35. Контроль радиационный** - получение информации о радиационной обстановке в организации, в окружающей среде и об уровнях облучения людей (включает в себя дозиметрический и радиометрический контроль).
- 36. Место рабочее** - место постоянного или временного пребывания персонала для выполнения производственных функций в условиях воздействия ионизирующего излучения в течение более половины рабочего времени или двух часов непрерывно.
- 37. Мощность дозы** - доза излучения за единицу времени (секунду, минуту, час).
- 38. Население** - все лица, включая персонал вне работы с источниками ионизирующего излучения.
- 39. Облучение** - воздействие на человека ионизирующего излучения.
- 40. Облучение аварийное** - облучение в результате радиационной аварии.
- 41. Облучение медицинское** - облучение пациентов в результате медицинского обследования или лечения.
- 42. Облучение планируемое повышенное** - планируемое облучение персонала в дозах, превышающих установленные основные пределы доз, с целью предупреждения развития радиационной аварии или ограничения ее последствий.
- 43. Облучение потенциальное** - облучение, которое может возникнуть в результате радиационной аварии.
- 44. Облучение природное** - облучение, которое обусловлено природными источниками излучения.
- 45. Облучение производственное** - облучение работников от всех техногенных и природных источников ионизирующего излучения в процессе производственной деятельности.
- 46. Облучение профессиональное** - облучение персонала в процессе его работы с техногенными источниками ионизирующего излучения.
- 47. Облучение техногенное** - облучение от техногенных источников как в нормальных, так и в аварийных условиях, за исключением медицинского облучения пациентов.
- 48. Обращение с отходами радиоактивными** - все виды деятельности, связанные со сбором, транспортированием, переработкой, хранением и (или) захоронением радиоактивных отходов.
- 49. Объект радиационный** - организация, где осуществляется обращение с техногенными источниками ионизирующего излучения.
- 50. Органы государственного надзора за радиационной безопасностью** - органы, которые уполномочены правительством Российской Федерации или ее субъектов осуществлять надзор за радиационной безопасностью.
- 51. Отходы радиоактивные** - не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные настоящими Нормами и Правилами.
- 52. Паспорт радиационно-гигиенический организации** - документ, характеризующий состояние радиационной безопасности в организации и содержащий рекомендации по ее улучшению.
- 53. Паспорт радиационно-гигиенический территории** - документ, характеризующий состояние радиационной безопасности населения территории и содержащий рекомендации по ее улучшению.
- 54. Паспорт санитарный** - документ, разрешающий организации в течение установленного времени проводить регламентированные работы с источниками ионизирующего излучения в конкретных помещениях, вне помещений или на транспортных средствах.
- 55. Персонал** - лица, работающие с техногенными источниками излучения (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б).
- 56. Предел дозы (ПД)** - величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.

- 57. Предел годового поступления (ПГП)** - допустимый уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при монофакторном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы.
- 58. Радиационная авария** - потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями персонала, стихийными бедствиями или иными причинами, которая привела к облучению людей или радиоактивному загрязнению окружающей среды, превышающим величины, регламентированные для контролируемых условий.
- 59. Радиационная безопасность населения** - состояние защищенности настоящего и будущих поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.
- 60. Работа с источником ионизирующего излучения** - все виды обращения с источником излучения на рабочем месте, включая радиационный контроль.
- 61. Работа с радиоактивными веществами** - все виды обращения с радиоактивными веществами на рабочем месте, включая радиационный контроль.
- 62. Риск радиационный** - вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.
- 63. Санитарно-защитная зона** - территория вокруг радиационного объекта, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения может превысить установленный предел дозы облучения населения.
- 64. Санпропускник** - комплекс помещений, предназначенных для смены одежды, обуви, санитарной обработки персонала, контроля радиоактивного загрязнения кожных покровов, средств индивидуальной защиты, специальной и личной одежды персонала.
- 65. Санилюз** - помещение между зонами радиационного объекта, предназначенное для предварительной дезактивации и смены дополнительных средств индивидуальной защиты.
- 66. Средство индивидуальной защиты** - средство защиты персонала от внешнего облучения, поступления радиоактивных веществ внутрь организма и радиоактивного загрязнения кожных покровов.
- 67. Уровень вмешательства (УВ)** - уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия.
- 68. Уровень контрольный** - значение контролируемой величины дозы, мощности дозы, радиоактивного загрязнения и т.д., устанавливаемое для оперативного радиационного контроля, с целью закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности, обеспечения дальнейшего снижения облучения персонала и населения, радиоактивного загрязнения окружающей среды.
- 69. Устройство (источник), генерирующее ионизирующее излучение** - электрофизическое устройство (рентгеновский аппарат, ускоритель, генератор и т.д.), в котором ионизирующее излучение возникает за счет изменения скорости заряженных частиц, их аннигиляции или ядерных реакций.
- 70. Эффекты излучения детерминированные** - клинически выявляемые вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, в отношении которых предполагается существование порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше - тяжесть эффекта зависит от дозы.
- 71. Эффекты излучения стохастические** - вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, не имеющие дозового порога возникновения, вероятность возникновения которых пропорциональна дозе и для которых тяжесть проявления не зависит от дозы.

## **1.2 Вспомогательные понятия дозиметрии**

Дадим определения некоторых других понятий, необходимых для понимания лекции.

**Биологические эффекты** - воздействие ионизирующих излучений на биологические процессы в живых организмах.

**Ионизирующее излучение** (нерекомендованный термин – радиоактивное излучение) - любое излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к образованию электрических зарядов разных знаков.

**Облучение** - воздействие ионизирующего излучения на вещество.

**Поглощение энергии излучения** - преобразование энергии ионизирующего излучения в облучаемой среде в другие виды энергии, а также в энергию других видов излучения.

**Энергия излучения, переданная веществу**, - разность между суммарной энергией всех заряженных и незаряженных частиц (без учета энергии покоя), входящих в данный объем вещества, и суммарной энергией всех частиц, выходящих из этого объема, плюс изменение энергий, связанное с массой покоя частиц при ядерных превращениях, происходящих в объеме.

**Линейная передача энергии (ЛПЭ)** - отношение энергии  $dE$ , переданной среде движущейся заряженной частицей вследствие столкновений при перемещении ее на расстояние  $dl$ , к этому расстоянию:

$$L = dE/dl$$

**Линейный коэффициент передачи энергии  $\mu_e$**  - отношение доли энергий  $dE/E$  косвенно ионизирующего излучения (исключая энергию покоя частиц), которая преобразуется в кинетическую

энергию заряженных частиц при прохождении элементарного пути  $dl$  в веществе, к длине этого пути:

$$\mu_e = (1/E) (dE/dl)$$

**Примечание.** Массовый коэффициент передачи энергии  $\mu_{tr,m}$ , выражается через линейный:  $\mu_{e,m} = \mu_e / \rho$ , где  $\rho$  - плотность вещества.

**Линейный коэффициент поглощения энергии  $\mu_{en}^*$**  - произведение линейного коэффициента передачи энергии  $\mu_e$  на разность между единицей и долей  $g$  энергии вторичных заряженных частиц, переходящей в тормозное излучение в данном веществе:  $\mu_{en} = \mu_e (1 - g)'$

**Примечание.** Массовый коэффициент поглощения энергии  $\mu_{en,m}$  выражается через линейный:

$$\mu_{en,m} = \mu_{en} / \rho = \mu_{e,m} (1 - g).$$

**Керма** - отношение суммы начальных кинетических энергий  $dE_k$  всех заряженных частиц, образованных косвенно ионизирующим излучением в элементарном объеме, к массе  $dm$  вещества в этом объеме:  $K = dE_k/dm$ .

**Сема** - отношение  $dE_c$  к  $dm$ , где  $dE_c$  — потери энергии заряженных частиц, за исключением вторичных электронов, в столкновении с электронами в веществе массой  $dm$ :  $S = dE_c/dm$ . Единица: Дж кг<sup>-1</sup>(Гр).

**Экспозиционная доза фотонного излучения\*** - отношение суммарного заряда всех ионов одного знака, возникающих при полном торможении электронов и позитронов, которые были образованы фотонами в элементарном объеме воздуха, к массе  $dm$  воздуха в этом объеме:  $X = dQ/dm$ .

\* Согласно РД50-454-84 использование экспозиционной дозы и ее мощности после 1 января 1990 г. не рекомендуется.

**Максимальная эквивалентная доза (МЭД)**- наибольшее значение суммарной эквивалентной дозы в теле человека или каком-либо критическом органе от всех источников внешнего и внутреннего облучения:  $H_{\max}$ .

**Максимальная эквивалентная доза** на единичный перенос (флюэнс) частиц (фотонов) - дозиметрическая характеристика внешнего излучения данного вида, энергии и направления распространения. Численно равна отношению дозы  $H_{\max}$  в критическом органе или теле человека, созданной данным ионизирующим излучением с данным направлением распространения (угловым распределением) к переносу одной частицы  $\Phi$  этого излучения на единицу поверхности (к единичному переносу):  $h_{\max} = H_{\max} / \Phi$  или  $h_{\max} = 'H_{\max} / \varphi$ , где  $'H_{\max}$  мощность максимальной эквивалентной дозы;  $\varphi$  - плотность потока частиц этого излучения.

**Ожидаемая эффективная или эквивалентная доза ( $H_{T,\tau}$ )** - эффективная или эквивалентная доза  $H_{T,\tau}$  в организме (некотором органе), которая может быть получена в результате какого-либо решения о планируемом облучении, в результате практической работы с источниками излучений за время  $\tau$  после поступления радиоактивных веществ в организм. Вычисляется на одно лицо как временной интеграл мощности эффективной или эквивалентной дозы в момент времени  $t$  (Исходной величиной для расчетов ожидаемой дозы является  $H_E$  или  $H_T$  и временной интервал  $\tau$ . (Когда он не определен, следует принять  $\tau = 50$  лет для взрослых и 70 лет для детей.)

**Полувековая ожидаемая эффективная или эквивалентная доза** - ожидаемая эффективная доза  $H_E$  или ожидаемая средняя эквивалентная доза  $H_T$  в организме (некотором органе), которая накопится в течение 50 лет с момента времени  $t_0$  поступления радионуклида в организм человека:

$$H_{50} = \int_{t_0}^{t_0+50} 'H_{E,T}(t) dt$$

**Эквивалент дозы** - мера дозы на орган или ткань, предназначенная для количественного выражения вреда, рассчитывается как результат умножения средней поглощенной дозы в органе или ткани и соответствующего коэффициента качества. Заменена величиной эквивалентной дозы, как основной величиной, рекомендуемой МКРЗ, а также для расчета эффективной дозы. Однако определения некоторых действующих величин дозы по-прежнему используют эту величину.

**Эквивалент амбиентной дозы** - непосредственно измеряемая величина, которая представляет эффективную дозу, для использования при мониторинге окружающей среды в условиях воздействия внешнего облучения. В МКРЕ дано определение эквивалента амбиентной дозы как эквивалента дозы, который создается в некоторой точке в поле излучения соответственно достроенным и распространенным полем в стандартном шаре МКРЕ на глубине  $d$  по радиусу, имеющему направление, противоположное направлению распространения поля; символ  $H^*(d)$ . Для сильно проникающего излучения рекомендуется величина  $d = 10$  мм.

**Предотвращаемая доза** - прогнозируемая доза вследствие радиационной аварии, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями.

**Коллективная эффективная доза** - сумма индивидуальных  $H_i$ , эффективных доз у данной группы людей:  $S = \sum H_i \cdot P_i$ , где  $P_i$  - число лиц в данной группе, получивших эффективную дозу  $H_i$ . Может быть определена также так:

$$S_E = \int_0^{\infty} H_E P(H) d H_E$$

где  $P(H) d H_E$  - число лиц в данной группе, получивших эффективную дозу в диапазоне дозы от  $H_E$  до  $H_E + d H_E$ .

**Индексы эквивалентной дозы** - наибольшие значения эквивалентной дозы в шаре диаметром 300 мм из тканно-эквивалентного вещества плотностью 1 кг/л:  $H_i$ ,  $H_{i,d}$ ;  $H_{i,s}$ .

### 1.3 Единицы измерений физических величин

Напомним, что величины СИ и их размерности – длина (метр, м), масса (килограмм, кг), время (секунда, с), электрический ток (ампер, А), термодинамическая температура (градус Кельвина, К), количество вещества (моль) и сила света (кандела, кд). Остальные единицы – их производные. Например, площадь, объем, скорость, плотность и др. Некоторые производные единицы СИ, имеющие специальные наименования в сфере дозиметрии и радиоактивности, приведены в **Табл.1**, некоторые примеры произвольных единиц СИ - в **Табл.2**, а Внесистемные единицы, допустимые к применению наравне с единицами СИ – в **Табл.3**, а соотношение некоторых внесистемных единиц с единицами СИ - в **Табл. 5**.

**Табл.1.** Единицы СИ, имеющие специальные наименования.

| Величина  |                    | Единица      |               |         |   |
|---|--------------------|--------------|---------------|---------|---|
| Наименование  | Размерность        | Наименование | Обозначение   |         | Выражение через основные и производные единицы СИ |
|   |                    |              | международное | русское |   |
| Энергия, работа, количество теплоты   | $L^2MT^{-2}$       | джоуль       | J             | Дж      | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$                       |
| Мощность  | $L^2MT^{-3}$       | ватт         | W             | Вт      | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$                       |
| Электрический заряд, количество электричества   | TI                 | кулон        | C             | Кл      | $s \cdot A$                                       |
| Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила | $L^2MT^{-3}I^{-1}$ | вольт        | V             | В       | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$          |
| Активность нуклида в радиоактивном источнике (активность радионуклида)                                      | $T^{-1}$           | беккерель    | Bq            | Бк      | $s^{-1}$  |
| Поглощенная доза ионизирующего излучения, керма   | $L^2T^{-2}$        | грей         | Gy            | Гр      | $m^2 \cdot s^{-2}$                                |
| Эквивалентная доза ионизирующего излучения, эффективная доза ионизирующего излучения                        | $L^2T^{-2}$        | зиверт       | Sv            | Зв      | $m^2 \cdot s^{-2}$                                |

**Табл.2** Примеры произвольных единиц СИ, наименования и обозначения которых образованы с использованием специальных наименований и обозначений, указанных в **Табл.1**.

| Величина  |             | Единица            |               |         |   |
|---|-------------|--------------------|---------------|---------|---|
| Наименование  | Размерность | Наименование       | Обозначение   |         | Выражение через основные и производные единицы СИ |
|   |             |                    | международное | русское |   |
| Экспозиционная доза фотонного излучения (экспозиционная доза гамма- и рентгеновского излучения) | $M^{-1}TI$  | кулон на килограмм | C/kg          | Кл/кг   | $kg^{-1} \cdot s \cdot A$                         |
| Мощность поглощенной дозы   | $L^2T^{-3}$ | грей в секунду     | Gy/s          | Гр/с    | $m^2 \cdot s^{-3}$                                |

**Табл.3** Внесистемные единицы, допустимые к применению наравне с единицами СИ

| Наименование величины | Единица                      |               |         |  |                                     |
|-----------------------|------------------------------|---------------|---------|--|-------------------------------------|
|                       | Наименование                 | Обозначение   |         | Соотношение с единицей СИ                              | Область применения                  |
|                       |                              | международное | русское |  |                                     |
| Масса                 | тонна                        | t             | T       | $1 \cdot 10^3 \text{ kg}$                              | Все области                         |
|                       | атомная единица массы 1), 2) | u             | а.е.м.  | $1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$                  | Атомная физика                      |
| Время                 | минута                       | min           | мин     | 60 s   | Все области                         |
|                       | час                          | h             | ч       | 3600 s   |                                     |
|                       | сутки                        | d             | сут     | 86400 s  |                                     |
| Энергия               | электрон-вольт               | eV            | эВ      | $1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J}$<br>(приблизительно) | Физика                              |
|                       | киловатт-час                 | kW·h          | кВт·ч   | $3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$                             | Для счетчиков электрической энергии |

Для сокращения последующих комментариев приведем в **Табл.4** численные значения различных множителей.

**Табл. 4.** Множители и приставки, используемые для образования наименований и обозначений десятичных кратных и дольных единиц СИ

| Десятичный множитель | Приставка | Обозначение приставки |         | Десятичный множитель | Приставка | Обозначение приставки |         |
|----------------------|-----------|-----------------------|---------|----------------------|-----------|-----------------------|---------|
|                      |           | международное         | русское |                      |           | международное         | русское |
| $10^{24}$            | иотта     | Y                     | И       | $10^{-1}$            | деци      | d                     | д       |
| $10^{21}$            | зетта     | Z                     | З       | $10^{-2}$            | санτι     | c                     | с       |
| $10^{18}$            | экса      | E                     | Э       | $10^{-3}$            | милли     | m                     | м       |
| $10^{15}$            | пета      | P                     | П       | $10^{-6}$            | микро     | $\mu$                 | мк      |
| $10^{12}$            | тера      | T                     | Т       | $10^{-9}$            | нано      | n                     | н       |
| $10^9$               | гига      | G                     | Г       | $10^{-12}$           | пико      | p                     | п       |
| $10^6$               | мега      | M                     | М       | $10^{-15}$           | фемто     | f                     | ф       |
| $10^3$               | кило      | k                     | к       | $10^{-18}$           | атто      | a                     | а       |
| $10^2$               | гекто     | h                     | г       | $10^{-21}$           | зепто     | z                     | з       |
| $10^1$               | дека      | da                    | да      | $10^{-24}$           | иокто     | y                     | и       |

**Табл. 5.** Соотношение некоторых внесистемных единиц с единицами СИ

| Наименование величины   | Единица      |               |         |                                     |
|---|--------------|---------------|---------|-------------------------------------|
|   | Наименование | Обозначение   |         | Соотношение с единицей СИ           |
|   |              | международное | русское |                                     |
| Длина   | ангстрем     | Å             | Å       | $1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$        |
| Работа, энергия   | эрг          | erg           | эрг     | $1 \cdot 10^{-7} \text{ J}$ (точно) |
| Количество теплоты, термодинамический потенциал   | калория      | cal           | кал     | 4,1868 J (точно)                    |
| Поглощенная доза ионизирующего излучения, керма   | рад          | rad, rd       | рад     | 0,01 Gy                             |
| Эквивалентная доза ионизирующего излучения, эффективная доза ионизирующего излучения            | бэр          | rem           | бэр     | 0,01 Sv                             |
| Экспозиционная доза фотонного излучения (экспозиционная доза гамма- и рентгеновского излучений) | рентген      |               | R       | $2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$   |
| Активность нуклида в радиоактивном источнике (активность радионуклида)                          | кюри         | Ci            | Ки      | $3,70 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$     |
| Длина   | микрон       | $\mu$         | мк      | $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$         |

**Табл.6.** Доли единиц

| Величина   | единиц СИ             | рекомендуемых кратных и дольных единиц СИ                             |
|--|-----------------------|---|
| Энергия, работа  | J; Дж<br>(джоуль)     | TJ; ТДж<br>GJ; ГДж<br>MJ; МДж<br>kJ; кДж<br>mJ; мДж                   |
| Поглощенная доза ионизирующего излучения, керма                                      | Gy; Гр (грей)         | TGy; ТГр<br>GGy; ГГр<br>MGy; МГр<br>kGy; кГр<br>mGy; мГр<br>μGy; мкГр |
| Активность нуклида в радиоактивном источнике (активность радионуклида)               | Bq; Бк<br>(беккерель) | EBq; ЭБк<br>PBq; ПБк<br>TBq; ТБк<br>GBq; ГБк<br>MBq; МБк<br>kBq; кБк  |
| Эквивалентная доза ионизирующего излучения, эффективная доза ионизирующего излучения | Sv; Зв (зиверт)       | mSv; мЗв  |

Для лучшего понимания материалов данного курса лекций, конкретизируем используемые в нем единицы измерений.

**Беккерель (Bq):** стандартная международная единица радиоактивности, равная одному распаду за секунду. Данное количество радиоактивных атомов имеет активность 1Бк, если в секунду распадается одно ядро. Каждый акт распада связан с эмиссией ионизирующего излучения. 1 Бк=1 расп/сек. Это - очень небольшая единица, равная примерно 27 пикокюри.

**Кюри (Ci):** традиционная (внесистемная) единица измерения радиоактивности, равная радиоактивности 1 грамма чистого радия. Она эквивалентна 37 млрд. распадов в секунду (37 млрд. беккерелей). 1 Ки=3,7\*10<sup>10</sup> расп/сек = 3,7\*10<sup>10</sup> Бк.

**Рад:** внесистемная единица измерения поглощенной дозы радиации, определяемой как накопление 100 эргов энергии на 1 грамм ткани.

**Грей (Gy):** Международная единица поглощенной дозы, равная 100 радам.

**1 Кл/кг** - единица экспозиционной дозы в системе СИ. Специального названия не имеет. Это такое количество гамма- или рентгеновского излучения, которое в 1 кг сухого воздуха образует 6,24\*10<sup>18</sup> пар ионов, которые несут заряд в 1 кулон каждого знака. (1 кулон = 3\*10<sup>9</sup> ед. СГСЭ = 0,1 ед. СГСМ). Физический эквивалент 1 Кл/кг равен 33 Дж/кг (для воздуха). Соотношения между рентгеном и Кл/кг следующие: 1 Р = 2,58\*10<sup>-4</sup> Кл/кг - точно. 1 Кл/кг = 3,88\*10<sup>3</sup> Р - приблизительно.

**Рентген:** внесистемная единица экспозиционной дозы. Это такое количество гамма- или рентгеновского излучения, которое в 1 см<sup>3</sup> сухого воздуха (имеющего при нормальных условиях вес 0,001293 г) образует 2,082\*10<sup>9</sup> пар ионов. Эти ионы несут заряд в 1 эл.-статическую единицу каждого знака (в системе СГСЭ), что в единицах работы и энергии (в системе СГС) составит около 0,114 эрг поглощённой воздухом энергии (6,77\*10<sup>-4</sup> Мэв). (1 эрг = 10<sup>-7</sup> Дж = 2,39\*10<sup>-8</sup> кал). При пересчёте на 1 г воздуха это составит 1,610\*10<sup>12</sup> пар ионов или 85 эрг/г сухого воздуха. Таким образом физический энергетический эквивалент рентгена равен 85 эрг/г для воздуха. (По некоторым данным он равен 83,8, по другим - 88,0 эрг/г). Единица рентген может быть использована до значения энергии 3 Мэв рентгеновского и у - излучений. От 1 рентгена неокостные биологические ткани получают радиационное воздействие, равное примерно 1 раду.

**Рем** (радиационный эквивалент человека): единица измерения эквивалентной поглощенной дозы радиации, учитывающая различные пути передачи энергии от ионизирующей радиации тканям человеческого организма (известна также как относительная биологическая эффективность). В то время как в радах и греях измеряется накопление энергии в тканях, ремы и зиверты измеряют биологический ущерб. В случае бета- и гамма-радиации рады и ремы равны друг другу. Однако, поскольку альфа-радиация наносит гораздо больший ущерб на единицу энергии, накопленной в живых тканях, измеренная в радах альфа-радиация должна быть умножена на равный 20 коэффициент с тем, чтобы получить результат в ремах. Указанный коэффициент 20 (называемый качественным фактором) принят в настоящее время, однако в будущем он может быть изменен в результате переоценки наносимого радиацией ущерба. В настоящее время ICRP рекомендует ограничение дозы в пределах 2 рем/год для персонала и 500 миллirem/год для населения.

**Зиверт (Sv):** Стандартная единица измерения эквивалентной поглощенной дозы, равной 100 ремам (по имени шведского ученого Зиверта (R.M. Sievert) — первого председателя Международной комиссии по радиологической защите, МКРЗ). Это - единица эквивалентной и эффективной эквивалентной доз в системе СИ. 1 Зв равен эквивалентной дозе, при которой произведение величины поглощённой дозы в Гр<sub>ах</sub> (в биологической ткани) на коэффициент  $W_R$  будет равно 1 Дж/кг. Иными словами, это такая поглощённая доза, при которой в 1 кг вещества выделяется энергия в 1 Дж.  $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} * W_R = 1 \text{ Дж/кг} * W_R = 100 \text{ рад} * W_R = 100 \text{ бэр}$ . При  $W_R=1$  (для рентгеновского, гамма-, бета-излучений, электронов и позитронов) 1 Зв соответствует поглощённой дозе в 1 Гр:  $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад} = 100 \text{ бэр}$ .

**Человеко-зиверт:** Доза для населения, определяемая как сумма индивидуальных доз населения определенной выборки.

**Бэр** – внесистемная единица эквивалентной дозы излучения – количество энергии любого вида, которое при поглощении в 1 г биологической ткани произведет биологическое действие, эквивалентное действию рентгеновского или  $\gamma$ -излучения при дозе в воздухе 1 рентген. До 1963 единица бэр определялась как биологический эквивалент рентгена (отсюда и название).  $1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад} * K = 100 \text{ эрг/г} * K = 0,01 \text{ Гр} * K = 0,01 \text{ Дж/кг} * K = 0,01 \text{ Зиверт}$ . При коэффициенте качества излучения  $K = 1$ , то есть для рентгеновского, гамма-, бета-излучений, электронов и позитронов, 1 бэр соответствует поглощённой дозе в 1 рад.  $1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Гр} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Зиверт}$ . Ещё в 50-х годах было установлено, что если при экспозиционной дозе в 1 рентген воздух поглощает  $83,8 \div 88,0 \text{ эрг/г}$  (физический эквивалент рентгена), то биологическая ткань поглощает  $93 \div 95 \text{ эрг/г}$  (биологический эквивалент рентгена). Поэтому оказывается, что при оценке доз можно считать (с минимальной погрешностью), что экспозиционная доза в 1 рентген для биологической ткани соответствует (эквивалентна) поглощённой дозе в 1 рад и эквивалентной дозе в 1 бэр (при  $K=1$ ), то есть, грубо говоря, что 1 Р, 1 рад и 1 бэр - это одно и то же.

**Бэрад** – поглощенная доза любого ионизирующего излучения, которая обладает той же биологической эффективностью, что и 1 рад рентгеновских лучей со средней удельной ионизацией 100 пар ионов на 1 мкм слоя воды.  $D \text{ бэр (бэрад)} = D \text{ р (рад)} * W_R$ .

**Фэр** – физический эквивалент рентгена, внесистемная единица эквивалентной дозы корпускулярного ионизирующего излучения ( $\alpha$ - и  $\beta$ - частицы, нейтроны), при которой в воздухе образуется столько же пар ионов, сколько при экспозиционной дозе рентгеновского или гамма-излучения в 1 рентген. Международное обозначение гер,

**Рабочий уровень (РУ):** Единица дозы, используемая при добыче урана. Рабочий уровень представляет собой единицу концентрации в воздухе потенциальной альфа-энергии, излучаемой радоном и его продуктами деления. Если радон присутствует в воздухе в течение определенного времени, 1 рабочий уровень равен примерно 100 пикокюри радона на 1 литр воздуха.

**Месячный рабочий уровень (МРУ):** Месячный рабочий уровень определяется как воздействие 1 среднего рабочего уровня в течение рабочего месяца, равного 170 часам.

В заключение на всякий случай напомним, что для рентгеновских, гамма-, бета-излучений, электронов и позитронов величины рентген, рад и бэр, а также (отдельно!) величины Грэй и Зиверт оказываются равнозначными при оценке облучения человека.