

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Изучение методов и аппаратуры контроля мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы

Цель работы: получение навыков работы с дозиметрическими приборами контроля облучения персонала при работе с техногенными источниками ионизирующего излучения

Теоретическая часть

Одной из важнейших задач, связанных с воздействием излучения на объекты живой и неживой природы, является установление связи между измеряемыми физическими величинами и наблюдаемым радиационным эффектом:

$$\eta = F(Q),$$

где $F(Q)$ – некоторая функция одной или нескольких физических величин, характеризующих поле излучения или взаимодействие излучения с веществом, под Q можно понимать один или несколько следующих процессов: потеря энергии излучения, передача энергии, поглощение энергии, первичные процессы (ионизация и возбуждение атомов среды).

Дозиметрия ионизирующих – самостоятельный раздел прикладной ядерной физики, в котором рассматриваются свойства ионизирующих излучений, физические величины, характеризующие взаимодействие ионизирующих излучений со средой, а также методы и средства для измерения этих величин.

Количественное определение дозы излучения, действующей на живой организм, необходимо прежде всего для выявления, оценки и предупреждения возможной радиационной опасности для человека.

Основная задача дозиметрии – дать количественную оценку эффекта воздействия ионизирующих излучений на облучаемый объект.

Основополагающим документом, регламентирующим требования Федерального закона «О радиационной безопасности населения» в форме основных пределов доз, допустимых уровней воздействия ионизирующего излучения и других требований по ограничению облучения человека, являются Нормы радиационной безопасности НРБ-99 (см. Приложение).

Они применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения.

Нормы радиационной безопасности НРБ-99 распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- в результате радиационной аварии;
- от природных источников излучения;
- при медицинском облучении.

Требования по обеспечению радиационной безопасности сформулированы для каждого вида облучения. Суммарная доза от всех видов облучения используется для оценки радиационной обстановки и ожидаемых медицинских последствий, а также для обоснования защитных мероприятий и оценки их эффективности.

Основные понятия и термины в области дозиметрии ионизирующих излучений

Внешнее облучение - облучение тела от находящихся вне его источников ионизирующего излучения.

Внутреннее облучение - облучение тела от находящихся внутри него источников ионизирующего излучения.

Поглощенная доза ионизирующего излучения D - отношение средней энергии \overline{dW} ионизирующего излучения, поглощенного веществом в элементарном объеме, к массе dm вещества в этом объеме:

$$D = \frac{\overline{dW}}{dm}.$$

Единица измерения поглощенной дозы в СИ – грей (Гр). Грей равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж.

Основной величиной (мерой), определяющей уровень радиационного воздействия (биологического повреждения) при хроническом облучении человека в малых дозах, т. е. не способного вызвать лучевую болезнь, является эквивалентная доза.

Эквивалентная доза H - основная дозиметрическая величина в области радиационной безопасности, введенная для оценки возможного ущерба здоровью человека от хронического воздействия ионизирующего излучения произвольного состава при значении эквивалентной дозы за календарный год не более 5 предельно допустимых доз (ПДД), т.е не превышающего 250 мЗв в год. Эквивалентная доза равна произведению поглощенной дозы на средний коэффициент качества \bar{k} ионизирующего излучения в данном элементе объема биологической ткани. Единица эквивалентной дозы - зиверт, Зв. При определении эквивалентной дозы принимается следующий состав мягкой биологической ткани: 10,1% водорода, 11,1% углерода, 2,6 % азота, 76,2 % кислорода (по массе).

Коэффициент качества \bar{k} - коэффициент для учета биологической эффективности разных видов ионизирующего излучения при определении эквивалентной дозы. При определении эквивалентной дозы ионизирующего излучения с неизвестным энергетическим составом следует использовать следующие средние значения коэффициента качества: рентгеновское и гамма-излучения, $\bar{k} = 1$; электроны, позитроны и бета-излучение, $\bar{k} = 1$; альфа-излучение с энергией меньше 10 МэВ, $\bar{k} = 20$; нейтроны с энергией 0,1-10 МэВ, $\bar{k} = 10$; нейтроны с энергией меньше < 20кэВ, $\bar{k} = 3$.

Эффективная эквивалентная доза (ЭЭД) H_E - сумма произведений дозы, полученной каждым органом H_T , на соответствующий весовой (взвешивающий) коэффициент W_T , учитывающий различную чувствительность органов к излучению. ЭЭД обеспечивает сравнимость и приведение неравномерного облучения тела к такой же оценке его последствий, как и при равномерном облучении: $H_E = \sum_{i=1}^T H_T W_T$.

Персонал, профессиональные работники - категория А - лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений. Лица моложе 18 лет к работе с источниками ионизирующего излучения не допускаются.

Ограниченная часть населения - категория Б облучаемых лиц - лица, которые не работают непосредственно с источниками ионизирующего излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ и других источников излучения, применяемых в учреждении и (или) удаляемых во внешнюю среду. Уровень облучения лиц категории Б определяется по критической группе.

Население - категория В облучаемых лиц - население страны, республики, края или области.

Предельно допустимая доза ПДД - основной дозовый предел для категории А облучаемых лиц - 50 мЗв (5 бэр). ПДД - такое наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год, при котором равномерное облучение за 50 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами. ПДД не включают в себя дозы естественного фона и медицинского облучения.

Предел дозы ПД - основной дозовый предел для категории Б облучаемых лиц. ПД - такое наибольшее среднее значение индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год у критической группы лиц, при котором равномерное облучение в течение 70 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами. Предел дозы контролируется по мощности эквивалентной дозы внешнего излучения на территории и в помещениях и по уровню радиоактивных выбросов и радиоактивного загрязнения объектов внешней среды.

Мощность эквивалентной дозы (МЭД) \dot{H} - отношение приращения эквивалентной дозы за интервал времени к этому интервалу времени. Единица мощности эквивалентной дозы - зиверт в секунду, Зв/с, 1 Зв/с = 100 бэр/с.

Амбиентная эквивалентная доза $H^*(10)$ - эквивалентная доза, создаваемая в шаре диаметром 30 см из тканеэквивалентного материала плотностью 1 г/см³ на глубине 10 мм от поверхности по диаметру параллельному направленному потоку излучения.

Описание экспериментального стенда

В качестве средства измерения используются портативные носимые радиометры-дозиметры гамма- и бета-излучения ИРД-02, МКС-08 («Навигатор») со съемным экраном или приборы с аналогичными характеристиками.

На рис.7.8 (см. раздел 2.3.3 описания МКС-08П) представлен схематический вид стенда для проведения измерений мощности амбиентного эквивалента дозы $\dot{H}_\gamma(10)$ (приборами ИРД-02 или МКС-08), амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ (прибор МКС-08) и плотности потока бета-частиц.

В качестве источника гамма-излучения используется источник ¹³⁷Cs, из набора ОСГИ, а в качестве источника бета-излучения – источник ⁹⁰Sr – ⁹⁰Y.

Расстояние 3-5 мм устанавливается при измерении плотности потока бета-частиц. При измерении мощности амбиентной дозы и дозы гамма-излучения расстояние выбирается таким, чтобы обеспечивалось значение мощности дозы в пределах от 10 до 20 мкЗв/ч.

Измерения с гамма-источником проводятся тогда, когда детектор прибора закрыт экраном, формирующим соответствующую энергетическую зависимость чувствительности детектора. Измерения с бета-источником проводятся при снятом экране.

1 Описание и работа интеллектуального микропроцессорного дозиметра-радиометра МКС-08П

1.1 Назначение и область применения

Дозиметр-радиометр МКС-08П предназначен для измерения дозы и мощности амбиентной дозы фотонного (рентгеновского и гамма) излучения, для измерения плотности потока бета-частиц и для оценки (или измерения – по заказу потребителя) плотности потока альфа-частиц от загрязненных поверхностей. Прибор позволяет осуществлять оперативный поиск загрязненных предметов или источников радиоактивного излучения, а при комплектации подставкой для измерительной кюветы - проводить измерение объемной активности проб воды, почвы, пищи, продуктов растениеводства, животноводства и т.п. (по бета- и гамма-излучению).

Прибор МКС-08П имеет 4 модификации исполнения, приведенные в табл.1, и различающиеся назначением и комплектацией: типом счетчика СБТ-10А (стандартный или отобранный с повышенной чувствительностью к альфа-излучению) и наличием или отсутствием в комплекте измерительной кюветы с подставкой - для измерения объемной активности проб по гамма- и бета-излучению.

Прибор МКС-08П позволяет проводить оценку радиационной безопасности рабочих мест, жилища, местности, оценку радиоактивной загрязненности реальных объектов, предметов, материалов и проб, в т.ч. денежных билетов и их упаковок.

Прибор прост в обращении, имеет всего два органа управления. Информация выводится на матричное цифро-аналоговое табло в цифровой форме. В приборе применен непрерывный режим измерения и представление на табло усредненного значения измеряемой величины со сменой показаний каждые 2 с, что удобно при оперативном контроле. В приборе имеется звуковая сигнализация – для обеспечения поиска источника излучения по изменению частоты звуковой сигнализации.

Питание прибора осуществляется от аккумулятора (с этой целью к нему прилагается двойной комплект аккумуляторов и зарядное устройство) или от элемента 6F22 («Корунд»). Кроме того, имеется разъем для подключения внешнего аккумуляторного (батарейного) питания или адаптера с выходным напряжением от 8 до 9 В для питания от сети 220 В, 50 Гц.

Прибор может использоваться в работе персоналом служб радиационного контроля, здравоохранения, МЧС (ГО), охраны окружающей среды, производителей сельхозпродуктов, строителей, таможни, сотрудников банков и других организаций, работающих, как правило, в нормальных условиях, но решающих задачи по выявлению локальных источников излучения или отдельных предметов, загрязненных радиоактивными нуклидами (веществами).

1.2 Технические характеристики МКС-08П

• диапазон измерения амбиентной дозы, мЗв (мР)	0,001-10 ³ (0,1-10 ⁵)
• диапазон измерения мощности амбиентной дозы, мкЗв/ч (мкР/ч)	0,1 – 10 ² (10 - 10 ⁴)
• диапазон энергий фотонов при измерении уровня мощности дозы, МэВ	0,04 – 3,0
• энергетическая зависимость при измерении мощности дозы, %	±30
• диапазон измерения плотности потока бета-частиц от загрязненных поверхностей (по стронцию-90, иттрию-90), част/см ² .мин	3 - 10 ⁴
• нижний предел энергии регистрируемого бета-излучения, не выше, МэВ	0,05
• диапазон измерения объемной активности проб окружающей среды с плотностью от 0,08 до 1,2 г/см ³ , Бк/мл (Бк/г): - по цезию-137 (в режиме А)	1.10 ¹ - 2.10 ⁴

- по стронцию-90+иттрию-90 (в режиме А)	$3 \cdot 10^0 - 6 \cdot 10^3$
• основная погрешность измерения, %	± 25
• диапазон индикации (измерения*) плотности потока альфа-частиц от загрязненных поверхностей (по плутонию-239), част/см ² .мин	$1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^5$ ($10-1 \cdot 10^4$)
• нижний предел энергии регистрируемых альфа-частиц, не выше, МэВ	3,0
• анизотропия чувствительности для цезия-137 и америция-241 в телесном угле 4π, не более, %	± 40
• время установления рабочего режима, мин	1
• время смены/установления показаний, с	2/40
• число результатов последних измерений по 2 с, усредняемых в зависимости от значения измеряемой величины	16, 8, 4
• продолжительность непрерывной работы (при проведении измерений на уровне естественного радиационного фона), не менее, ч: - от аккумулятора типа 7Д-0,125 - от аккумулятора типа «Nisa» - от элемента типа 6F22 («Корунд») - от сети 220 В 50 Гц	12 8 24 не ограничено**
• условия эксплуатации: - температура, °С - влажность при 30 °С, %	от 0 до +40 до 90
• габаритные размеры, мм	208x115x78
• масса (в т.ч.с аккумулятором 7Д-0,125), не более, г	500 (550)

* - режим и диапазон измерения обеспечивается по дополнительному договору с Потребителем (Заказчиком);

** - по дополнительному договору с Потребителем (Заказчиком) возможна поставка прибора с сетевым адаптером.

1.3 Метод измерения

1.3.1 В приборе в качестве детектора излучения применен торцевой газоразрядный счетчик СБТ-10А с тонким входным окном. Поток фотонов, бета- или альфа-частиц преобразуется детектором в последовательность электрических сигналов. Эти сигналы формируются по длительности и амплитуде, а затем обрабатываются микропроцессорной схемой регистрации, которая обеспечивает автоматическую обработку и усреднение результатов измерений и их цифровое представление на матричном дисплее.

1.3.2 В начале строки матричного дисплея представляется одна из следующих измеряемых прибором физических величин (определяемых режимом работы):

• \dot{N}_γ - мощность амбиентной дозы фотонного излучения, мкЗв/ч;

N_γ^* - амбиентная доза фотонного излучения за время измерения, мЗв;

• $\dot{\phi}_\beta$ - плотность потока бета-частиц, част/см².мин;

• $\dot{\Phi}_\alpha$ - плотность потока альфа-частиц, част/см².мин;

A - объемная активность проб, Бк/мл (Бк/г)

1.3.3 В процессе измерения на дисплее постоянно отображается среднее значение измеряемой величины по п. 1.3.2 – в соответствующих единицах измерения.

1.3.4 Время установления показаний при постоянном значении уровня облучения (при неизменной геометрии измерения) составляет около 40 с. На дисплее показания меняются каждые 2 с с усреднением микропроцессором результатов последних 16-ти, 8-ми или 4-х измерений в зависимости от значения измеряемой величины. Это обеспечивает постоянство погрешности измерений во всем диапазоне измерений с одновременным уменьшением времени усреднения при увеличении значения измеряемых величин. Последнее облегчает работу в режиме поиска радиоактивных аномалий (загрязнений) и повышает оперативность измерений.

1.3.5 Для повышения точности измерений необходимо в течение 40 с обеспечить постоянство геометрии источник-прибор. При изменении уровня излучения или расстояния между источником и прибором показания сразу же начинают изменяться и новое точное значение показаний устанавливается примерно через 40 с.

В приборе на каждый импульс счетчика вырабатывается звуковой сигнал, что позволяет определить тенденцию изменения уровня радиации, оценивая на слух среднюю частоту звуковых сигналов.

1.3.6 Для измерения объемной активности проб рекомендуется в качестве измерительной кюветы использовать стеклянную чашку Петри объемом 100 мл. После размещения контролируемой пробы в кювете прибор устанавливается в фиксированной геометрии на подставке – сверху над измерительной кюветой.

1.4 Общие сведения о конструкции прибора

1.4.1 На верхней панели прибора (рис.1) расположены:

- цифро-аналоговое табло (дисплей);
- органы управления – переключатель включения-выключения питания прибора и кнопка переключения режима работы (по п. 1.3.2);
- текст краткого описания для пользователя.

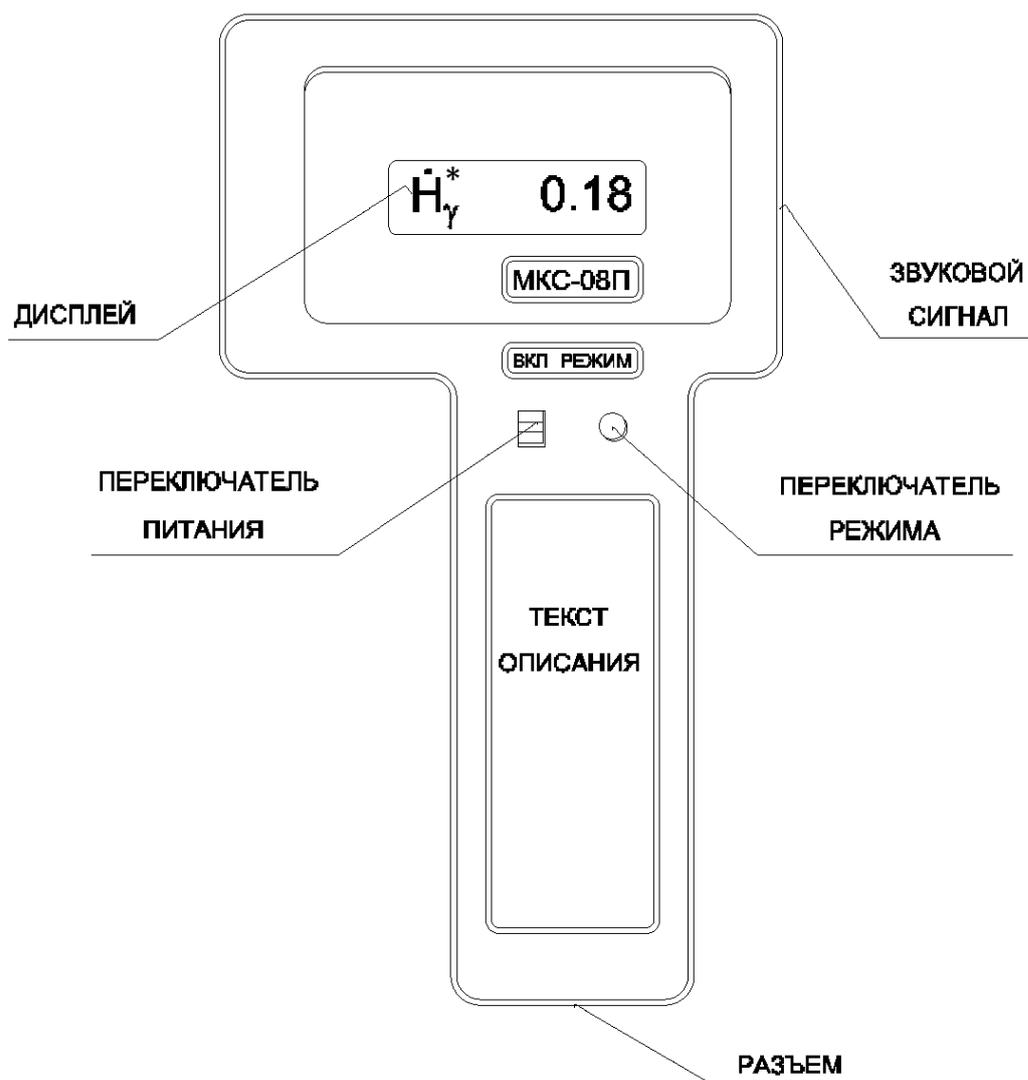


Рис. 1 Общий вид прибора (верхняя панель)

1.4.2 Дисплей представляет информацию об измеряемой величине в цифровом виде в режиме измерения: мощности амбиентной дозы фотонного излучения – рис. 2, плотности потока бета-частиц – рис.3, объемной активности проб – рис.4, а также амбиентной дозы фотонного излучения – рис.5 и плотности потока альфа-частиц – рис.6.

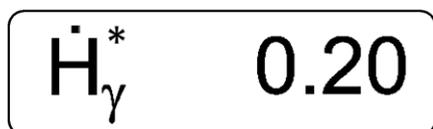


Рис. 2
Мощность амбиентной дозы фотонного излучения – 0,20 мкЗв/ч

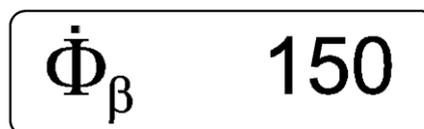


Рис. 3
Плотность потока бета-частиц – 150 част/см².мин

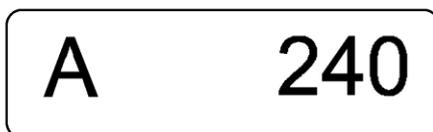


Рис. 4
Объемная (удельная) активность

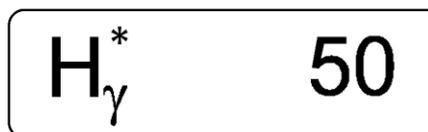


Рис. 5
Амбиентная доза фотонного



Рис. 6

Плотность потока альфа-частиц – 40 част/см².мин.

В случае разряда источника питания на дисплее высвечивается информация о разряде источника питания: **power**. В этом случае необходимо выключить питание прибора и установить в прибор заряженный источник питания.

В случае превышения верхнего предела диапазона измеряемой величины на дисплее индицируется знак *.

1.4.3 Органы управления на верхней крышке (рис.1):

- ползунковый переключатель питания расположен слева и имеет два положения: включено - “ВКЛ.” и выключено – не обозначено ;
- кнопочный переключатель режима “РЕЖИМ” расположен справа и обеспечивает циклическое переключение режима измерения и индикацию на табло измеряемой величины и ее размерности по п.п. 1.3.2 и 1.4.2 с учетом размерности по п. 1.3.2, указанной и в тексте описания (рис.1).

1.4.4 Текст краткого описания для пользователя, приведенный на верхней панели прибора, содержит значения диапазонов измерения и указания об основных режимах измерения.

1.4.5 Звуковая сигнализация переменной частоты, нарастающей с увеличением значения измеряемой величины, обеспечивается пьезокерамическим звонком ЗПЗ, установленным внутри прибора у боковой поверхности верхней панели.

1.4.6 На задней стенке прибора (рис.7) расположены:

- съемный экран детектора;
- съемная крышка отсека питания.

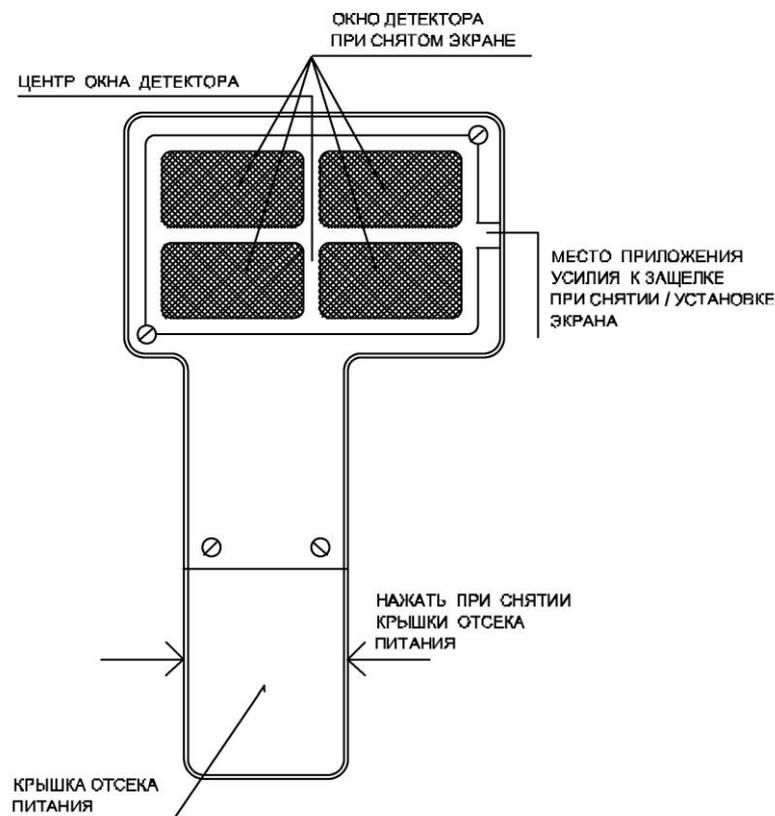


Рис. 7. Общий вид прибора (задняя стенка)

1.4.7 Съёмный экран предназначен для выравнивания энергетической зависимости показаний при регистрации фотонного излучения различной энергии, а также для экранировки детектора от бета- и альфа-частиц в режиме измерения амбиентной дозы и мощности амбиентной дозы.

Экран фиксируется защёлкой. Чтобы снять экран, необходимо приложить усилие “вверх” к выступающей защёлке – в месте, показанном на рис.7. При установке экрана нужно приложить усилие “вниз” к той же защёлке.

1.4.8 Съёмная крышка отсека питания обеспечивает доступ к элементу питания. Для снятия крышки необходимо приложить усилие “вверх” в местах, указанных на рис.7, а при установке крышки на место – усилие “вниз”.

1.4.9 В торце ручки прибора установлен разъём для подключения:

- сетевого адаптера, обеспечивающего питание прибора от сети напряжением 220 В частотой 50 Гц;
- внешнего аккумулятора, аналогичного аккумулятору, устанавливаемому внутри прибора и указанному в п. 1.2.

Схема подключения внешнего питания прибора дана в приложении А.

При подключении (отключении) внешнего источника питания автоматически происходит отключение (включение) источника питания, установленного внутри прибора.

2 ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 Эксплуатационные ограничения и меры безопасности

2.1.1 Оберегайте закрытое сеткой тонкое входное окно детектора, повреждение которого приводит к выходу из строя счетчика СБТ-10А.

2.1.2 Для предупреждения попадания под высокое напряжение питания детектора и выхода из строя элементов схемы недопустимо вскрытие опломбированного отсека прибора.

2.1.3 Содержите в чистоте отсек питания и контакты подключения источников питания и сетевого адаптера.

2.1.4 Проводите своевременную замену разряженных источников питания.

2.1.5 При попадании радиоактивных веществ на корпус прибора могут повыситься его фоновые показания. Убедитесь в этом, измерив фоновые показания прибора в другом месте или помещении.

2.1.6 Класс защиты источника сетевого питания (адаптера) от поражения электрическим током – II (по ГОСТ 12.2.007) и обозначен на корпусе адаптера условным знаком □.

2.2 Подготовка прибора к работе

Для того, чтобы подготовить прибор к работе, Вы должны:

- установить переключатель питания в положение «ВЫКЛ.»;
- снять крышку отсека питания, приложив усилия вверх в местах, указанных на рис.7;
- установить источник питания 7Д-0,125 («НИСА», «Корунд»), соблюдая полярность подключения;
- закрыть крышку отсека питания. Прибор готов к работе через 1 минуту после включения;
- при работе с внешним питанием прибора подключить к разъёму в торце ручки сетевой адаптер или внешний аккумулятор с выходным напряжением от 8 до 9 В – в соответствии со схемой приложения А.

2.3 Работа с прибором

2.3.1 Измерение мощности амбиентной дозы фотонного излучения.

Для измерения мощности амбиентной дозы («фона») фотонного (рентгеновского и гамма-) излучения в помещении или на открытой местности необходимо:

- закрыть экраном по п. 1.4.7 рабочую поверхность детектора;
- включить прибор;
- установить режим работы \dot{N}_γ (последовательно нажимая кнопку «РЕЖИМ»);
- расположить прибор на расстоянии не менее 1 м от поверхности пола (земли) и любых окружающих предметов;

- через 40 с (или более) зарегистрировать значение мощности ambientной дозы в мкЗв/ч.

2.3.2 Измерение ambientной дозы фотонного излучения.

Значение ambientной дозы фотонного излучения определяется путем суммирования импульсов детектора при работе прибора в двух режимах: в режиме измерения ambientной дозы фотонного излучения (\dot{H}_γ^*) и в режиме измерения мощности ambientной дозы фотонного излучения (\dot{H}_γ). Представление результатов измерения осуществляется в режиме \dot{H}_γ^* .

Измерение ambientной дозы фотонного излучения проводится от включения питания прибора до его выключения. При выключении питания прибора показания набранной дозы обнуляются (сбрасываются).

Для измерения ambientной дозы фотонного излучения необходимо:

- подготовить прибор к работе по п. 2.3.1;
- установить режим работы \dot{H}_γ^* или \dot{H}_γ ;
- перевести прибор в режим \dot{H}_γ^* и зарегистрировать ambientную дозу в мЗв, накопленную прибором за время его непрерывной работы в режимах \dot{H}_γ^* и \dot{H}_γ .

2.3.3 Измерение плотности потока бета-частиц.

Для измерения плотности потока бета-частиц от поверхностей предметов, загрязненных бета-излучающими радионуклидами, необходимо:

- закрыть экраном рабочую поверхность детектора;
- включить прибор;
- установить режим работы Φ_β - измерения плотности потока бета-частиц;
- расположить прибор на расстоянии 3-5 мм от поверхности объекта измерения (как показано на рис.8) и через 40 с после этого зарегистрировать показания прибора с закрытым детектором $\dot{\Phi}_{\beta 3}$ в част/см².мин, обусловленные фоновым гамма-излучением и гамма-излучением контролируемого предмета.

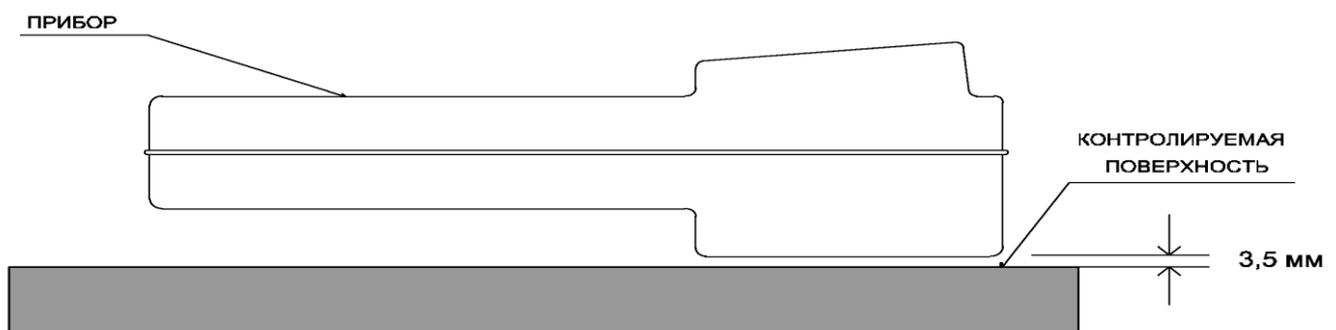


Рис.8 Схематический вид экспериментального стенда

- снять экран детектора и повторно расположить прибор в том же месте контроля на расстоянии 3-5 мм от поверхности объекта измерения;
- через 40 с зарегистрировать показания прибора с открытым детектором $\dot{\Phi}_{\beta 0}$, которые определяются как среднее значение суммарных показаний прибора от бета- и гамма-излучений в част/см².мин.

Определить плотность потока бета-частиц $\dot{\Phi}_\beta$ в част/см².мин от объекта измерения, загрязненного бета-излучающими нуклидами, по формуле:

$$\dot{\Phi}_{\beta} = \dot{\Phi}_{\beta 0} - \dot{\Phi}_{\beta 3} \quad (1)$$

2.3.4 Индикация (измерение) плотности потока альфа-частиц.

Для оценки (индикации) или для измерения плотности потока альфа-излучения от поверхности предметов, загрязненных альфа-излучающими нуклидами, необходимо:

- снять экран детектора;
- включить прибор;
- установить режим работы $\dot{\Phi}_{\alpha}$ - измерения плотности потока альфа-частиц;
- расположить прибор на расстоянии 3-5 мм от поверхности объекта измерения (как показано на рис.8) и через 40 с после этого зарегистрировать суммарные показания прибора с открытым детектором $\dot{\Phi}_{\alpha 0}$ в част/см².мин – от альфа-, бета- и гамма-излучений;
- разместить прибор на расстоянии 3-5 см от поверхности контролируемого объекта (или ввести между контролируемым объектом и прибором лист обыкновенной писчей бумаги, поглощающей только альфа-излучение) и зарегистрировать суммарные показания прибора с листом бумаги $\dot{\Phi}_{\alpha I}$ в част/см².мин от бета- и гамма-излучений.

Определить плотность потока альфа-частиц $\dot{\Phi}_{\alpha}$ в част/см².мин от поверхности исследуемого объекта по формуле:

$$\dot{\Phi}_{\alpha} = \dot{\Phi}_{\alpha 0} - \dot{\Phi}_{\alpha I} \quad (2)$$

2.3.5 Измерение объемной активности проб.

Для измерения объемной активности проб в оптимальной геометрии в комплект прибора входит подставка для размещения прибора и измерительной кюветы. В качестве измерительной кюветы потребитель может использовать стандартную чашку Петри стеклянную или пластмассовую, имеющую номинальный (максимальный) объем 80(100) мл или 50(75) мл.

Градуировка прибора выполнена для стеклянной чашки Петри с номинальным объемом пробы 80 мл для проб с плотностью 1 г/см³ (вода) и по нуклиду цезий-137 (преобладающему на загрязненных территориях после Чернобыльской аварии). По дополнительному договору с Потребителем (Заказчиком) Изготовитель проводит градуировку для различных радионуклидов и проб различной плотности, размещаемых в выбранной Потребителем измерительной кювете.

а) при измерении объемной активности водных растворов цезия-137 необходимо:

- снять экран детектора;
- включить прибор;
- установить режим работы А – измерения объемной активности проб;
- расположить прибор на расстоянии не менее 1 м от радиоактивной пробы и через 40 с после этого зарегистрировать фоновые показания прибора A_{ϕ} , Бк/мл (Бк/г), обусловленные фоновым излучением;
- заполнить измерительную кювету – стеклянную чашку Петри радиоактивной пробой объемом 80 мл, накрыть сверху тонкой полиэтиленфторлатной пленкой (рекомендуемая толщина 10-40 мкм) и установить на столе;
- установить прибор на подставке в фиксированной геометрии над измерительной кюветой;
- через 40 с после этого зарегистрировать суммарные показания прибора A_0 в Бк/мл (Бк/г).

Определить значение объемной активности цезия в пробе A_{Cs} в Бк/мл (Бк/г) по формуле:

$$A_{Cs} = A_0 - A_{\phi} \quad (3)$$

б) при измерении объемной активности водных растворов стронция-90 – иттрия-90 необходимо повторить операции по п. 2.3.5а и вычислить значение объемной активности стронция-90 – иттрия-90 A_{Sr} в Бк/мл (Бк/г) по формуле:

$$A_{Sr} = 0,3 (A_0 - A_{\phi}) \quad (4)$$

2.3.6 Исследование и контроль предметов или проб, загрязненных радиоактивными нуклидами.

Исследование и контроль предметов или проб на загрязнение радиоактивными веществами проводят с целью обнаружения отдельных предметов (например, строительных материалов, денежных билетов и др.) или проб (почвы, сельхозпродукции и др.), загрязненных радионуклидами. Результатом проведения этих работ должна быть сортировка контролируемых предметов или видов продукции в соответствии с принятыми для них нормативными уровнями радиоактивного загрязнения для различных радионуклидов.

Связанные с указанными работами измерения должны учитывать специфику и физические характеристики объектов контроля, а также задачи, возникающие при организации такого контроля. В связи с этим для каждого объекта и вида контроля должны дополнительно разрабатываться методика и/или рекомендации по организации выявления и контроля объектов, загрязненных радиоактивными веществами и их выведения из обращения с последующим захоронением на спецкомбинатах. Эти документы подлежат обязательному согласованию с органами Госстандарта РФ, Минздрава РФ, Минатома РФ, НПО «Радон» и другими организациями (например, Минсельхозпрод РФ, МЧС РФ и др.).

Порядок выполнения работы

Измерение значений мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы (мощности AMBIENTНОЙ дозы), AMBIENTНОГО эквивалента дозы и плотности потока бета-частиц.

1. Включить прибор, установить его в режим « γ » и провести 5-10 измерений значений мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)$ в помещении, где проводится лабораторная работа (измерение гамма-фона).

2. Определить среднее арифметическое значение $\bar{H}^*(10)$.

3. Вычислить среднее квадратичное отклонение σ :

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (\dot{H}_i^* - \bar{H}^*)^2}}{n},$$

где $\bar{H}^*(10)$ - среднее арифметическое значение мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы;

$\dot{H}_i^*(10)$ - измеренные значения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы;

n - число измерений;

4. Записать результаты измерений и вычислений в таблицу.

5. Положить под «входное» окно детектора прибора гамма-источник.

6. Провести измерения и вычисления, аналогично п.п. 1-3.

7. Записать результаты измерений и вычислений в таблицу.

8. В случае использования прибора МКС-08П провести измерения AMBIENTНОГО эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)$ за период времени t (t = 15-20 мин).

9. Сравнить измеренное значение $\dot{H}^*(10)$ со значением $\bar{H}^*(10)$.

10. Записать результат измерения и вычисления в таблицу.

11. Убрать источник гамма-излучения.

12. Снять с детектора прибора экран.

13. Перевести прибор в режим измерения « β », провести измерения бета-гамма-фона в помещении в соответствии с п.1 и вычислить его среднее арифметическое значение.

14. Положить под входное окно детектора бета-источник.

15. Зарегистрировать 5-10 показаний прибора и вычислить среднее арифметическое значение плотности потока бета-частиц от источника.

16. Вычесть из него среднее арифметическое значение бета-гамма-фона.

17. Записать результат измерений и вычислений.

18. Сравнить результаты измерений и вычислений с результатами, полученными другими участниками лабораторной работы. В случае их расхождений, обсудить возможные причины этих расхождений.

19. Написать отчет.

Таб-

лица

Результаты измерений и вычислений

№	ИРД-02 γ -излучение				ИРД-02 β -излучение				МКС-08 П			
	Измер γ -фон \dot{H}	σ_{ϕ}	\dot{H} от γ -ист	σ_{γ}	Измер β - γ -фон \dot{H}	σ_{ϕ}	\dot{H} от β -ист	σ_{β}	Измер γ -фон \dot{H}	σ_{ϕ}	\dot{H} от γ -ист	σ_{γ}
1.												
2.												
3.												
....												
10.												
$\sum Q_i$												
$Q_i = (\sum Q_i) / n$												

Контрольные вопросы

- Что такое радиационный эффект?
- В чем различие существующих доз и мощностей доз облучения?
- Что такое ПДД и ПД и какие величины рекомендуют НРБ-99?
- Что такое поверка прибора?
- Каков физический смысл среднего арифметического значения?
- Каков физический смысл среднего квадратичного отклонения?
- Для какой цели используется экран перед детектором при измерении гамма-излучения?
- Почему при измерении бета-излучения экран снимается?
- Почему при измерении плотности потока бета-частиц прибор устанавливался почти вплотную к источнику?
- Какие материалы используются при экранировании фотонного (гамма-) излучения, бета(электронного) излучения, а также для экранирования нейтронов различных энергий?

Список литературы

- СП 2.6.1.758-99 - Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999 г., 116 с.
- Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1978.
- Поленов Б.В. Дозиметрические приборы для населения. Москва, Энергоатомиздат, 1991.
- Рекомендации МКРЗ. Радиационная защита населения: Пер. с англ. Под ред. А.А. Моисеева, Р.М. Алексахина. М.: Энергоатомиздат, 1987.
- Ковалев Е.Е. Радиационный риск на земле и в космосе. М.: Атомиздат, 1976.

ПРИЛОЖЕНИЕ. Основные нормативные требования по радиационной безопасности

Основопологающим документом, регламентирующим требования Федерального закона «О радиационной безопасности населения» в форме основных пределов доз, допустимых уровней

воздействия ионизирующего излучения и других требований по ограничению облучения человека, являются Нормы радиационной безопасности НРБ-99 (далее – Нормы).

Они применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения.

Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- в результате радиационной аварии;
- от природных источников излучения;
- при медицинском облучении.

Требования по обеспечению радиационной безопасности сформулированы для каждого вида облучения. Суммарная доза от всех видов облучения используется для оценки радиационной обстановки и ожидаемых медицинских последствий, а также для обоснования защитных мероприятий и оценки их эффективности.

Требования Норм не распространяются на источники излучения, создающие при любых условиях обращения с ними:

- индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв;
- индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв и в хрусталике не более 15 мЗв;

коллективную эффективную годовую дозу не более 1 чел.-Зв, либо когда при коллективной дозе более 1 чел.-Зв оценка по принципу оптимизации показывает нецелесообразность снижения коллективной дозы.

Требования Норм не распространяются также на космическое излучение на поверхности Земли и внутреннее облучение человека, создаваемое природным калием, на которые практически невозможно влиять.

Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине.

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения (принцип нормирования);

запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);

поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации).

Предел индивидуального пожизненного риска в условиях нормальной эксплуатации для техногенного облучения в течение года персонала принимается округленно $1.0 \cdot 10^{-3}$, а для населения – $5.0 \cdot 10^{-5}$.

Уровень пренебрежимого риска разделяет область оптимизации риска и область безусловно приемлемого риска и составляет 10^{-6} .

Требования к ограничению техногенного облучения в контролируемых условиях.

Одним из требований к ограничению техногенного облучения в контролируемых условиях является обеспечение нормальных условий эксплуатации источников излучения.

Нормами установлены следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);

все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Персонал – это лица, работающие с техногенными источниками излучения (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б). При нормальных условиях эксплуатации источников излучения для категорий облучаемых лиц установлены три класса нормативов:

основные пределы доз (ПД), приведенные в табл. 1;

допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и другие;

контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечить условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Таблица 1

Основные пределы доз

Нормируемые величины*	Пределы доз	
	Персонал(группа А)**	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	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***	150 мЗв	15 мЗв
коже****	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Примечания:

* Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

** Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А. Далее в тексте все нормативные значения для категории персонал приводятся только для группы А.

*** Относится к дозе на глубине 300 мг/см².

**** Относится к среднему по площади в 1 см² значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см² под покровным слоем толщиной 5 мг/см². На ладонях толщина покровного слоя - 40 мг/см². Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см² площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает не превышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1 Зв, а для населения за период жизни (70 лет) - 70 мЗв. Начало периодов вводится с 1 января 2000 года.

При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать пределов доз, установленных в табл. 1.

В стандартных условиях монофакторного поступления радионуклидов, определенных Нормами, годовое поступление радионуклидов через органы дыхания и среднегодовая объемная активность их во вдыхаемом воздухе не должны превышать числовых значений ПП и ДОВА, приведенных в приложениях к НРБ, где пределы доз взяты равными 20 мЗв в год для персонала и 1 мЗв в год для населения.

В условиях нестандартного поступления радионуклидов значения ПП и ДОВА устанавливаются методическими указаниями федерального органа госсанэпиднадзора.

Для персонала группы А значения ППП и ДОА дочерних продуктов изотопов радона (^{222}Rn и ^{220}Rn) - ^{218}Po (RaA), ^{214}Pb (RaB); ^{214}Bi (RaC); ^{212}Pb (ThB); ^{212}Bi (ThC) в единицах эквивалентной равновесной активности составляют:

ППП: $0,10 \text{ PRaA} + 0,52 \text{ PRaB} + 0,38 \text{ PRaC} = 3,0 \text{ МБк}$

$0,91 \text{ PThB} + 0,09 \text{ PThC} = 0,68 \text{ МБк}$

ДОА: $0,10 \text{ ARaA} + 0,52 \text{ ARaB} + 0,38 \text{ ARaC} = 1200 \text{ Бк/м}^3$

$0,91 \text{ AThB} + 0,09 \text{ AThC} = 270 \text{ Бк/м}^3$,

где Π и A_i - годовые поступления и среднегодовые объемные активности в зоне дыхания соответствующих дочерних продуктов радона и торона.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения: эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала. В этих условиях эквивалентная доза облучения плода за 2 месяца невыявленной беременности не превысит 1 мЗв. Для обеспечения выполнения указанного норматива при одновременном воздействии источников внешнего и внутреннего облучения должно выполняться требование о непревышении пределов доз внешнего и внутреннего облучения, установленных в табл.1.

Администрация предприятия обязана перевести беременную женщину на работу не связанную с источниками ионизирующего излучения, со дня ее информации о факте беременности, на период беременности и грудного вскармливания ребенка.

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.

Таким образом, НРБ-99 регламентируют следующие семь показателей (дозы) облучения персонала:

годовую эффективную дозу;

годовую эффективную дозу, усредненную за любые последовательные 5 лет;

эффективную дозу, накопленную за период трудовой деятельности (50 лет);

годовую эквивалентную дозу облучения хрусталиков глаза;

годовую эквивалентную дозу облучения кожи;

годовую эквивалентную дозу облучения кистей и стоп;

месячную эквивалентную дозу облучения органов малого таза женщин в возрасте до 45 лет.

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения (принцип нормирования);

запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);

поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации).

Планируемое повышенное облучение.

Планируемое облучение персонала группы А выше установленных пределов доз (см. табл. 1.) при ликвидации или предотвращении аварии может быть разрешено только в случае необходимости спасения людей и (или) предотвращения их облучения. Планируемое повышенное облучение допускается для мужчин старше 30 лет лишь при их добровольном письменном согласии, после информирования о возможных дозах облучения и риске для здоровья.

Планируемое облучение экипажей, находящихся в море судов ВМФ с атомными энергетическими установками, личного состава аварийно-спасательных и других специальных формирований выше установленных пределов доз (см. табл. 1.) при ликвидации или предотвращении аварии регламентируется ведомственными документами, согласованными с Минздравом России.

Планируемое повышенное облучение в эффективной дозе до 100 мЗв в год и эквивалентных дозах не более двукратных значений, приведенных в табл.1, допускается с разрешения территориальных органов госсанэпиднадзора, а облучение в эффективной дозе до 200 мЗв в год и четы-

режкратных значений эквивалентных доз по табл.1 - только с разрешения федерального органа госсанэпиднадзора.

Повышенное облучение не допускается:

для работников, ранее уже облученных в течение года в результате аварии или запланированного повышенного облучения с эффективной дозой 200 мЗв или с эквивалентной дозой, превышающей в четыре раза соответствующие пределы доз, приведенные в табл.1;

для лиц, имеющих медицинские противопоказания для работы с источниками излучения.

Лица, подвергшиеся облучению в эффективной дозе, превышающей 100 мЗв в течение года, при дальнейшей работе не должны подвергаться облучению в дозе свыше 20 мЗв за год.

Облучение эффективной дозой свыше 200 мЗв в течение года должно рассматриваться как потенциально опасное. Лица, подвергшиеся такому облучению, должны немедленно выводиться из зоны облучения и направляться на медицинское обследование. Последующая работа с источниками излучения этим лицам может быть разрешена только в индивидуальном порядке с учетом их согласия по решению компетентной медицинской комиссии.

Лица, не относящиеся к персоналу, привлекаемые для проведения аварийных и спасательных работ, должны быть оформлены и допущены к работам как персонал группы А.

Требования к защите от природного облучения в производственных условиях.

Эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не должна превышать 5 мЗв в год в производственных условиях (любые профессии и производства).

Средние значения радиационных факторов в течение года, соответствующие при монофакторном воздействии эффективной дозе 5 мЗв за год при продолжительности работы 2000 ч/год, средней скорости дыхания 1,2 м³/ч и радиоактивном равновесии радионуклидов уранового и ториевого рядов в производственной пыли, составляют:

мощность эффективной дозы гамма-излучения на рабочем месте - 2,5 мкЗв/ч;

ЭРОARn в воздухе зоны дыхания - 310 Бк/м³;

ЭРОATh в воздухе зоны дыхания - 68 Бк/м³;

удельная активность в производственной пыли урана-238, находящегося в радиоактивном равновесии с членами своего ряда - 40/f кБк/кг, где f- среднегодовая общая запыленность воздуха в зоне дыхания, мг/м³;

удельная активность в производственной пыли тория-232, находящегося в радиоактивном равновесии с членами своего ряда, - 27/f, кБк/кг.

При многофакторном воздействии должно выполняться условие: сумма отношений воздействующих факторов к значениям, приведенным выше, не должна превышать 1.

Воздействие космических излучений на экипажи самолетов нормируется как природное облучение в производственных условиях и эффективная доза этого рода работников не должна превышать 5 мЗв в год.

Требования к ограничению облучения населения.

Радиационная безопасность населения достигается путем ограничения воздействия от всех основных видов облучения. Возможности регулирования разных видов облучения существенно различаются, поэтому регламентация их осуществляется отдельно с применением разных методологических подходов и технических способов.

В отношении всех источников облучения населения следует принимать меры как по снижению дозы облучения у отдельных лиц, так и по уменьшению числа лиц, подвергающихся облучению, в соответствии с принципом оптимизации.

Ограничение техногенного облучения населения в нормальных условиях. Годовая доза облучения населения не должна превышать основные пределы доз (табл.1). Указанные пределы доз относятся к средней дозе критической группы населения, рассматриваемой как сумма доз внешнего облучения за текущий год и ожидаемой дозы до 70 лет вследствие поступления радионуклидов в организм за текущий год.

Для ограничения облучения населения отдельными техногенными источниками излучений федеральным органом госсанэпиднадзора для них устанавливаются квоты (доли) предела годовой дозы, но так, чтобы сумма квот не превышала пределов доз, указанных в таблице 1.

Облучение населения техногенными источниками излучения ограничивается путем обеспечения сохранности источников излучения, контроля технологических процессов и ограничения

выброса (сброса) радионуклидов в окружающую среду, а также другими мероприятиями на стадии проектирования, эксплуатации и прекращения использования источников излучения.

На основании значений ППП радионуклидов через органы пищеварения, соответствующих пределу дозы 1 мЗв за год и квот от этого предела, может быть рассчитана для конкретных условий допустимая удельная активность основных пищевых продуктов с учетом их распределения по компонентам рациона и в питьевой воде, а также с учетом поступления радионуклида через органы дыхания и внешнего облучения. Значения ППП радионуклидов для населения через органы дыхания и пищеварения, а также соответствующие им значения ДОО и УВ приведены в приложении П-2 НРБ-99.

Ограничение природного облучения населения. Допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не устанавливается. Снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения.

При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних изотопов радона и торона в воздухе помещений ($\text{ЭРОArn} + 4,6 \cdot \text{ЭРОATh}$) не превышала 100 Бк/м³, а мощность эффективной дозы гамма-излучения не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч.

В эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе жилых помещений не должна превышать 200 Бк/м³. При более высоких значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений. Защитные мероприятия должны проводиться также, если мощность эффективной дозы гамма-излучения в помещениях превышает мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч.

Эффективная удельная активность ($A_{\text{эфф}}$) природных радионуклидов в строительных материалах (щебень, гравий, песок, бутовый и пиленный камень, цементное и кирпичное сырье и пр.), добываемых на их месторождениях или являющихся побочным продуктом промышленности, а также отходы промышленного производства, используемые для изготовления строительных материалов (золы, шлаки и пр.), не должна превышать:

для материалов, используемых в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях (I класс):

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,3A_{\text{Th}} + 0,09A_{\text{K}} \leq 370 \text{ Бк/кг},$$

где A_{Ra} и A_{Th} - удельные активности ²²⁶Ra и ²³²Th, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, A_{K} - удельная активность К-40 (Бк/кг);

для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (II класс):

$$A_{\text{эфф}} \leq 740 \text{ Бк/кг};$$

для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (III класс):

$$A_{\text{эфф}} \leq 1,5 \text{ кБк/кг}.$$

При $1,5 \text{ кБк/кг} < A_{\text{эфф}} \leq 4,0 \text{ кБк/кг}$ (IV класс) вопрос об использовании материалов решается в каждом случае отдельно по согласованию с федеральным органом госсанэпиднадзора. При $A_{\text{эфф}} > 4,0 \text{ кБк/кг}$ материалы не должны использоваться в строительстве.

При содержании природных и искусственных радионуклидов в питьевой воде, создающих эффективную дозу меньше 0,1 мЗв за год, не требуется проведения мероприятий по снижению ее радиоактивности. Этому значению дозы при потреблении воды 2 кг в сутки соответствуют средние значения удельной активности за год (уровни вмешательства - УВ), приведенные в приложении П-2 НРБ-99. При совместном присутствии в воде нескольких радионуклидов должно выполняться условие:

$$\sum_i (A_i / \text{УВ}_i) \leq 1$$

где A_i - удельная активность i -го радионуклида в воде,

УВ_i - соответствующий уровень вмешательства.

При невыполнении указанного условия защитные действия должны осуществляться с учетом принципа оптимизации.

Предварительная оценка допустимости использования воды для питьевых целей может быть дана по удельной суммарной альфа (A_α)- и бета (A_β)-активности, которая не должна превышать 0,1 и 1,0 Бк/кг соответственно.

При возможном присутствии в воде ^3H , ^{14}C , ^{131}I , ^{210}Pb , ^{228}Ra и ^{232}Th определение удельной активности этих радионуклидов в воде является обязательным. Уровень вмешательства для ^{222}Rn в питьевой воде составляет 60 Бк/кг.

Примечание. Критическим путем облучения людей за счет радона, содержащегося в питьевой воде, является переход радона в воздух помещения и последующее ингаляционное поступление дочерних продуктов радона.

Для минеральных и лечебных вод устанавливаются специальные нормативы.

Удельная активность природных радионуклидов в фосфорных удобрениях и мелиорантах не должна превышать:

$$AU + 1,5A\text{Th} \leq 4,0 \text{ кБк/кг.}$$

где AU и ATh - удельные активности урана-238 (радия-226) и тория-232 (тория-228), находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и торцевого рядов, соответственно.

Ограничение медицинского облучения. Принципы контроля и ограничения радиационных воздействий в медицине основаны на получении необходимой и полезной диагностической информации или терапевтического эффекта при минимально возможных уровнях облучения. При этом не устанавливаются пределы доз, но используются принципы обоснования назначения радиологических медицинских процедур и оптимизации мер защиты пациентов.

При проведении профилактических медицинских рентгенологических исследований и научных исследований практически здоровых лиц годовая эффективная доза облучения этих лиц не должна превышать 1 мЗв.

Установленный норматив годового профилактического облучения может быть превышен лишь в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки, требующей проведения дополнительных исследований или вынужденного использования методов с большим дозообразованием. Такое решение о временном вынужденном превышении этого норматива профилактического облучения принимается областным, краевым (республиканским) управлением здравоохранения.

Проведение научных исследований на людях с источниками излучения должно осуществляться по решению федерального органа здравоохранения. При этом требуется обязательное письменное согласие испытуемого и предоставление ему информации о возможных последствиях облучения.

Лица (не являющиеся работниками рентгенорадиологического отделения), оказывающие помощь в поддержке пациентов (тяжелобольных, детей) при выполнении рентгенорадиологических процедур, не должны подвергаться облучению в дозе, превышающей 5 мЗв в год.

Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 1 метра от пациента, которому с терапевтической целью введены радиофармацевтические препараты, не должна превышать при выходе из радиологического отделения 3 мкЗв/ч.

При использовании источников излучения в медицинских целях контроль доз облучения пациентов является обязательным.

Требования по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии.

В случае возникновения аварии должны быть приняты практические меры для восстановления контроля над источником излучения и сведения к минимуму доз облучения, количества облученных лиц, радиоактивного загрязнения окружающей среды, экономических и социальных потерь, вызванных радиоактивным загрязнением.

При радиационной аварии или обнаружении радиоактивного загрязнения ограничение облучения осуществляется защитными мероприятиями, применимыми, как правило, к окружающей среде и (или) к человеку. Эти мероприятия могут приводить к нарушению нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории, т.е. являются вмешательством, влекущим за собой не только экономический ущерб, но и неблагоприятное воздействие на здоровье населения, психологическое воздействие на население и неблаго-

приятное изменение состояния экосистем. Поэтому при принятии решений о характере вмешательства (защитных мероприятий) следует руководствоваться следующими принципами:

предлагаемое вмешательство должно принести обществу и, прежде всего, облучаемым лицам больше пользы, чем вреда, т.е. уменьшение ущерба в результате снижения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред и стоимость вмешательства, включая его социальную стоимость (принцип обоснования вмешательства);

форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от снижения дозы, т.е. польза от снижения радиационного ущерба за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была бы максимальной (принцип оптимизации вмешательства).

Если предполагаемая доза излучения за короткий срок (2 суток) достигает уровней, при превышении которых возможны клинически определяемые детерминированные эффекты (табл.2), необходимо срочное вмешательство (меры защиты). При этом вред здоровью от мер защиты не должен превышать пользы здоровью пострадавших от облучения.

Таблица 2

Прогнозируемые уровни облучения,
при которых необходимо срочное вмешательство

Орган или ткань	Поглощенная доза в органе или ткани за 2 суток, Гр
Все тело	1
Легкие	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	3
Плод	0,1

При хроническом облучении в течение жизни защитные мероприятия становятся обязательными, если годовые поглощенные дозы превышают значения, приведенные в таблице 3. Превышение этих доз приводит к серьезным детерминированным эффектам.

Таблица 3

Уровни вмешательства при хроническом облучении

Орган или ткань	Годовая поглощенная доза, Гр
Гонады	0,2
Хрусталик глаза	0,1
Красный костный мозг	0,4

Уровни вмешательства для временного отселения населения составляют: для начала временного отселения - 30 мЗв в месяц, для окончания временного отселения 10 мЗв в месяц. Если прогнозируется, что накопленная за один месяц доза будет находиться выше указанных уровней в течение года, следует решать вопрос об отселении населения на постоянное место жительства.

При проведении противорадиационных вмешательств пределы доз (табл.1) не применяются. Исходя из указанных принципов, при планировании защитных мероприятий на случай радиационной аварии органами госсанэпиднадзора устанавливаются уровни вмешательства (дозы и мощности доз облучения, уровни радиоактивного загрязнения) применительно к конкретному радиационному объекту и условиям его размещения с учетом вероятных типов аварии, сценариев развития аварийной ситуации и складывающейся радиационной обстановки.

При аварии, повлекшей за собой радиоактивное загрязнение обширной территории, на основании контроля и прогноза радиационной обстановки устанавливается зона радиационной аварии. В зоне радиационной аварии проводится контроль радиационной обстановки и осуществляются мероприятия по снижению уровней облучения населения на основании указанных выше принципов и подходов.

Принятие решений о мерах защиты населения в случае крупной радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории проводится на основании сравнения прогнозируемой дозы, предотвращаемой защитным мероприятием, и уровней загрязнения с уровнями А и Б, приведенными в табл. 4 - 6.

Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, не превосходит уровень А, нет необходимости в выполнении мер защиты, связанных с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, а также хозяйственного и социального функционирования территории.

Если предотвращаемое защитным мероприятием облучение превосходит уровень А, но не достигает уровня Б, решение о выполнении мер защиты принимается по принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий.

Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, достигает и превосходит уровень Б, необходимо выполнение соответствующих мер защиты, даже если они связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории.

На поздних стадиях радиационной аварии, повлекшей за собой загрязнение обширных территорий долгоживущими радионуклидами, решения о защитных мероприятиях принимаются с учетом сложившейся радиационной обстановки и конкретных социально-экономических условий.

Вариант принятых решений применительно к последствиям аварийных прецедентов и локальных радиоактивных загрязнений приведен в приложении П-5 НРБ-99.

Таблица 4
Критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии

Меры защиты	Предотвращаемая доза за первые 10 суток, мГр			
	на все тело		щитовидная железа, легкие, кожа	
	уровень А	уровень Б	уровень А	уровень Б
Укрытие	5	50	50	500
Йодная профилактика: взрослые	—	—	250*	2500*
	—	—	100*	1000*
Эвакуация	50	500	500	5000

* Только для щитовидной железы

Таблица 5
Критерии для принятия решений об отселении и ограничении потребления загрязненных пищевых продуктов

Меры защиты	Предотвращаемая эффективная доза, мЗв	
	уровень А	уровень Б
Ограничение потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды	5 за первый год 1 /год в последующие годы	50 за первый год 10 /год в последующие годы
Отселение	50 за первый год	500 за первый год
	1000 за все время отселения	

Таблица 6
Критерии для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов в первый год после возникновения аварии

Радионуклиды	Удельная активность радионуклида в пищевых продуктах. кБк/кг	
	уровень А	уровень Б
¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs	1	10

⁹⁰ Sr	0,1	1,0
²³⁸ Pu, ²³⁹ Pu, ²⁴¹ Am	0,01	0,1

Критерии принятия решений и производные уровни для ограничительных мер при авариях с диспергированием преимущественно урана, плутония, других трансурановых элементов устанавливаются специальным нормативным документом.

Требования к планируемому повышенному облучению персонала группы А, к защите природного облучения в производственных условиях, к ограничению облучения населения в нормальных условиях, к ограничению медицинского облучения и требования по ограничению населения в условиях радиационной аварии рассмотрены в соответствующих разделах НРБ-99.

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения поверхности транспортных средств, минимально значимые удельной активности (МЗУА) и активности в помещении или на рабочем месте (МЗА) приведены в табл.7.

Таблица 7

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты, част/(см²×мин)

Объект загрязнения	Альфа-активные нуклиды*		Бета- активные нуклиды
	отдельные**	прочие	
Неповрежденная кожа, спецбелье, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты	2	2	200***
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, наружная поверхность спецобуви	5	20	2000
Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	10000
Наружная поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, снимаемой в саншлюзах	50	200	10000

Примечания. * Для поверхности рабочих помещений и оборудования, загрязненных альфа-активными радионуклидами, нормируется снимаемое (нефиксированное)загрязнение; для остальных поверхностей - суммарное (снимаемое и неснимаемое) загрязнение.

** К отдельным относятся альфа-активные нуклиды, среднегодовая допустимая объемная активность которых в воздухе рабочих помещений ДООА < 0,3 Бк/м³.

*** Установлены следующие значения допустимых уровней загрязнения кожи, спецбелья и внутренней поверхности лицевых частей средств индивидуальной защиты для отдельных радионуклидов: для Sr-90 + Y-90 - 40 част/(см²×мин).

Уровни облучения человека в нормальных условиях и условиях, связанных с радиационной аварией.

Указать конкретные уровни облучения населения, которое не работает непосредственно с источниками ионизирующего излучения, но проживает на территории, прилегающей к ядерно- или радиационно-опасным объектам и может подвергаться воздействию радиоактивных веществ и других источников излучения, применяемых в них или выделяемых во внешнюю среду, для нормальной обстановки достаточно трудно. Они зависят от совершенства средств радиационной

защиты на АЭС, исследовательских реакторах, ускорителях, медицинских и промышленных облучательных установках, станциях для хранения и захоронения радиоактивных материалов, испытательных ядерных полигонах, экологической чистоты технологий предприятий атомной промышленности и т.п.

Население подвергается внешнему и внутреннему облучению от малоинтенсивных естественных и техногенных фоновых источников излучения (последние являются результатом антропогенной деятельности). Облучение от некоторых источников ионизирующего излучения, которому человек подвергается в естественных условиях в течение нескольких тысячелетий, исключить невозможно.

На открытой местности на уровне моря и для средних широт среднегодовая эффективная доза, обусловленная внешним космическим излучением, составляет около 0,37 мЗв. От внешних бета- и гамма-источников облучения земного происхождения (в основном естественного радионуклида калий-40 – бета- и гамма-излучателя с максимальной энергией бета-частиц 1,3 МэВ и гамма-квантов с энергией 1,46 МэВ и радионуклидов урана, тория и дочерних продуктов их распада, особенно радия, излучающих набор линий гамма-квантов с энергией от 0,09 до 2,62 МэВ), содержащихся в земной коре, она составляет около 0,3 мЗв. Среднегодовая эффективная доза от внутренних бета-гамма- и альфа-источников облучения естественного происхождения, находящихся в теле человека (в основном радионуклид калий-40, присутствующий в мышечной ткани) и поступающих в организм с воздухом, водой и пищей (в основном радионуклид калий-40 и в меньшей степени – изотопы уранового и ториевого рядов), составляет около 0,4 мЗв.

Наиболее значительными источниками облучения являются радон-222 и радон-220, представляющие собой короткоживущие газообразные продукты распада природного урана-238 и тория-232. Радон (в основном радон-222) и дочерние продукты его радиоактивного распада (альфа-излучатели с энергией альфа-частиц около 5,5 МэВ), вдыхаемые с воздухом, подвергают радиационному воздействию в большей степени за счет альфа-излучения, клетки и ткани дыхательного тракта. Основную часть эффективной дозы от радона (1,3 мЗв) человек получает, находясь в закрытом, непрветриваемом помещении. Радон проникает из грунта через фундамент и пол или выделяется строительными материалами минерального происхождения (гранитом, глиноземом, фосфогипсом, кальций-силикатным шлаком, кирпичом из красной глины, отходами урановых рудников, используемыми в строительстве). Опасность представляют пары воды (вода из скважин) с высоким содержанием радона, попадающие в легкие вместе с вдыхаемым воздухом, например в ванной комнате, а также повышенная концентрация радона в кухне от плиты или в помещении с нагревательным элементом на природном газе. Другие источники внутреннего облучения за счет вдыхания с воздухом – торон и продукты его распада, а также рубидий вносят меньший вклад во внутреннее облучение.

Таким образом, средняя эффективная доза, которую человек получает ежегодно от естественных источников излучения различных видов, составляет примерно 2,4 мЗв, а за 70 лет жизни «среднего» человека будет равна примерно 0,17 Зв. Следует отметить, что средняя эффективная доза внутреннего облучения примерно в 2,5 раза больше дозы внешнего облучения.

Значения естественного радиационного фона (мощности амбиентной дозы) колеблются в зависимости от местности или района города и в основном составляют 0,05-0,2 мкЗв/ч. В аномальных местах, где близко к поверхности подходят гранитные массивы, грунты или водные источники, содержащие повышенные концентрации естественных радионуклидов, вблизи домов, облицованных гранитом достигает 0,4 мкЗв/ч и более высоких уровней. На Земле имеются территории с радиационным фоном, составляющим 1-6 мкЗв/ч и на которых длительное время проживает человек (Индия, Китай и др. страны). Кроме того, население Земли, проживающее в высоких широтах, ежегодно получает примерно в 2 раза большие дозы, чем население экваториальных областей, а население высокогорных районов – в 5-10 раз большие дозы, чем население, проживающее на территориях, находящихся на уровне моря. Однако Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) не имеет данных о влиянии повышенного естественного фона на смертность и здоровье людей.

Пребывание в помещении приводит к ослаблению уровня внешнего облучения. Коэффициент ослабления (экранирования) для каменных домов равен 10, а для деревянных – 2.

С другой стороны, здания увеличивают дозы облучения за счет радионуклидов, находящихся в строительных материалах, из которых они построены. Например, в кирпичных, каменных и панельных домах мощность дозы в 2-3 раза больше, чем в деревянных.

Однако человек не постоянно находится в помещениях. Обычно считают, что человек 80 % времени находится в помещении и 20 % вне его. На открытой местности и в сельских условиях,

где пока еще в России преобладают деревянные дома, и в городских условиях, где в основном дома каменные, экранирование домами и другими зданиями различно. Поэтому коэффициент ослабления с учетом экранирования принимают равным 4 для городского населения и оставляют неизменным и равным 2 для сельского.

Внешний радиационный фон может быть увеличен в результате научно-технической деятельности человека. Это техногенный фон от ядерных испытаний, ядерных взрывов народнохозяйственного значения, широкого применения источников ионизирующих излучений в народном хозяйстве, медицине и постепенного загрязнения радионуклидами земли, воды, воздушной среды, растительности, предметов, металла, строительных и других материалов. Радиационный фон повышается за счет накопления золы и шлаков от ТЭЦ и печей, выбрасывания в окружающую среду радионуклидов с отходами атомной, горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности, увеличения запасов калийных удобрений и т.д.

В процессе жизни (во время отдыха, перелетов на самолетах, при медицинской диагностике и терапии, космических полетах в составе экипажа пассажиров, не являющихся космонавтами) отдельные лица подвергаются или могут подвергаться дополнительному облучению.

Вклад в годовую эффективную дозу облучения радиоактивных выпадений в результате испытаний ядерного оружия не превышает 1 %, от атомной энергетики – менее 0,1 % естественного фонового облучения.

Годовые дозы медицинского облучения в разных странах зависят от уровня развития в них здравоохранения. В России эффективная доза от всех видов медицинского облучения в среднем на одного человека составляет 1,5 мЗв/год, что несколько больше среднемирового показателя.

Во всех случаях, когда лица или группа лиц подвергаются облучению, принимаются или должны быть приняты меры по ограничению их облучения снижением дозы у отдельных лиц. В частности, это касается ограничения облучения при проживании на загрязненной местности, при медицинских рентгенорадиологических исследованиях населения, особенно беременных женщин (особенно на ранних стадиях беременности во время закладки органов и систем плода, т.е. на 7-15 неделе беременности), детей и подростков, а также в случаях радиационных аварий. Причем следует учитывать, что чем моложе организм, тем при прочих равных условиях он более чувствителен к воздействию радиации. При неизбежности облучения должно выполняться требование поддерживать дозу «так низко, как это достижимо» (в большинстве случаев ниже пределов доз) с учетом экономических и социальных факторов при ограничении, что ни одно лицо не будет подвергаться чрезмерному риску.