

Т Е О Р И Я

1. Радиационная безопасность, учебное пособие, pdf.

2. ЗН и ХО в ЧС, учебное пособие, pdf.

И.С. Асаенок

А.И. Навоша

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие

МИНСК 2004

И.С. Асаенок

А.И. Навоша

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве учебного пособия для студентов технических специальностей учреждений, обеспечивающих получение высшего образования

Минск 2004

УДК 614.876 (075.8)
БКК 68. 9я73
А 90

Рецензенты:

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности» БГТУ (зав. кафедрой Г.А. Чернушевич)

С.А. Хорева, профессор кафедры экологии БНТУ, доктор биологических наук

Асаенок И.С.

Радиационная безопасность: Учеб. пособие / И.С. Асаенок, А.И. Навоша
А 90 – Мн.: Бестпринт, 2004. – 105 с.

ISBN 985-6722-76-4

Рассмотрено понятие «радиация», включающее в себя различные виды ионизирующих и неионизирующих излучений. Особое внимание уделено ионизирующим излучениям, формирующимся при ядерных превращениях. Изложены условия радиоактивного распада, дозиметрические величины, взаимодействие различных излучений с веществом, вопросы воздействия ионизирующих излучений на организм человека.

Книга адресована студентам высших технических учебных заведений, аспирантам, магистрантам, изучающим основы защиты людей от ионизирующих излучений, а также широкому кругу читателей, интересующихся вопросами радиационной экологии.

ISBN 985-6722-76-4

УДК 614.876 (075.8)
БКК 68. 9я73

© И.С. Асаенок, А.И. Навоша., 2004
© Оформление. Бестпринт, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. РАДИОАКТИВНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ЯДЕР.....	6
1.1. Характеристики атомных ядер и энергия их связи.....	6
1.2. Явление радиоактивности. Основной закон радиоактивного распада...9	
1.3. Альфа-распады, бета-распады и гамма-излучения радиоактивных ядер.....	13
Контрольные вопросы.....	15
2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ.....	16
2.1. Взаимодействие альфа-частиц с веществом.....	16
2.2. Взаимодействие бета-частиц с веществом.....	17
2.3. Взаимодействие гамма-излучения с веществом.....	18
2.4. Взаимодействие нейтронов с веществом.....	21
2.5. Методы регистрации ионизирующих излучений.....	22
Контрольные вопросы.....	26
3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....	27
3.1. Деление тяжелых ядер. Цепная реакция деления.....	27
3.2. Понятие о ядерном реакторе и принципе его работы.....	30
Контрольные вопросы.....	34
4. ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ЕДИНИЦЫ.....	35
Контрольные вопросы.....	38
5. ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	40
5.1. Естественный радиационный фон.....	40
5.2. Искусственные источники радиации.....	44
Контрольные вопросы.....	45
6. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ...46	
6.1. Механизмы повреждения клеток и тканей при воздействии ионизирующих излучений.....	46
6.2. Радиочувствительность клеток и тканей.....	49
6.3. Реакции целостного организма на воздействие ионизирующих излучений.....	51
6.4. Действие на организм малых доз излучения.....	54
Контрольные вопросы.....	56
7. АВАРИЯ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ.....	58
7.1. Краткая характеристика типовых ядерных энергетических установок.....	58
7.2. Причины аварии на ЧАЭС, начальные ее последствия и состояние остановленного реактора.....	61
7.3. Радиозэкологическая обстановка в Республике Беларусь.....	63
7.4. Экономические последствия катастрофы на ЧАЭС.....	66
Контрольные вопросы.....	68
8. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ	

ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	69
8.1. Общие принципы защиты населения от ионизирующих излучений...	69
8.2. Хранение, учет и перевозка радиоактивных веществ, ликвидация отходов	74
8.3. Государственная программа Республики Беларусь по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции	76
Контрольные вопросы.....	80
9. НОРМИРОВАНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ	81
9.1. Обоснование допустимых доз облучения.....	81
9.2. Методика оценки радиационной обстановки.....	85
Контрольные вопросы.....	89
10. БЕЗОПАСНОСТЬ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	91
10.1. Виды и источники электромагнитных излучений (ЭМИ).....	91
10.2 Воздействие электромагнитных излучений на организм человека.....	96
10.3. Ультрафиолетовая радиация, воздействие на организм.....	101
10.4. Гигиенические аспекты тепловой радиации.....	104
Контрольные вопросы.....	105
ЛИТЕРАТУРА.....	106

ВВЕДЕНИЕ

Радиация (от латинского слова *radio* – излучаю) представляет собой различные излучения, распространяющиеся от какого-либо тела. Явления этих излучений появились задолго до того, как на Земле возникла живая материя. Ионизирующим называется излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков. Для характеристики можно использовать и термин «ионизирующая радиация». Она является частью общего понятия **радиация**, включающего в себя излучения электромагнитные, тепловые, ультрафиолетовые, инфракрасные.

Сегодня особое беспокойство представляют ионизирующие излучения, широко применяемые в промышленности, энергетике, медицине. При этом необходимо отметить, что ионизирующие излучения являются одновременно и другом и смертельным врагом человека. Это требует от каждого серьезных знаний об источниках опасности ионизирующей радиации, методах защиты от ее воздействия.

Авария на Чернобыльской АЭС заставила серьезно пересмотреть старые взгляды на проблему радиационной безопасности и в первую очередь безопасности ионизирующих излучений. Именно поэтому важно, чтобы специалисты с высшим образованием во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства республики имели четкое представление о степени радиационной опасности ионизирующих, электромагнитных, ультрафиолетовых излучений, которым могут подвергаться люди.

Одной из основных идей данного учебного пособия является осознание того, что радиации не надо бояться. Радиофобия, воздействуя серьезно на психику людей, утяжеляет течение заболеваний, вызванных воздействием ионизирующих излучений. Поэтому основным методом защиты от ее воздействия является знание характеристик различных видов излучений, бережное к ним отношение.

Авторы надеются, что пособие, предлагаемое читателям и в первую очередь студентам технических ВУЗов внесет свой вклад в дело овладения методами и технологиями, применяемыми не только для защиты от воздействия излучений, но и проведения более эффективных мероприятий по ликвидации последствий самой страшной радиационной аварии – аварии на ЧАЭС.

В книге отведено определенное место для рассмотрения вопросов защиты от других видов излучений – излучений видеотерминалов, влияющих на здоровье, излучений ультрафиолета, что позволит комплексно рассмотреть проблему радиационной безопасности.

1. РАДИОАКТИВНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ЯДЕР

1.1. Характеристики атомных ядер и энергия их связи

Как известно, наименьшей частицей вещества, обладающей всеми химическими свойствами данного химического элемента, является атом. Атом состоит из положительно заряженного ядра и окружающих его электронов. В ядре сосредоточена почти вся масса атома (более 99,95%). Размеры ядер имеют порядок $10^{-10} \dots 10^{-15}$ м, в то время как линейные размеры атомов порядка 10^{-10} м.

Массу частиц в ядерной физике принято выражать либо в атомных единицах массы (а.е.м.), либо в единицах энергии покоя частицы – мегаэлектронвольтах (МэВ). Энергия покоя находится в соответствии с формулой взаимосвязи массы (m) и энергии (E)

$$E = m \cdot c^2, \quad (1.1)$$

где c – скорость света в вакууме.

Формула (1.1) записана в системе единиц СИ, а эквивалентное, соотношение, записанное во внесистемных единицах, в котором масса выражается в а.е.м., а энергия – в МэВ, имеет вид

$$E = 931,5 \cdot m. \quad (1.2)$$

В формуле (1.2) для удобства вычисления c^2 и коэффициент перевода единиц измерения объединены в одно число 931,5, которое находится из следующих соображений. По определению $1 \text{ а.е.м.} = 1,661 \cdot 10^{-27}$ кг, а из дисциплины электричества известно, что $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Дж. Учитывая это, получаем

$$\frac{(2,998 \cdot 10^8)^2 \cdot 1,661 \cdot 10^{-27}}{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6} = 931,5.$$

Соотношение различных единиц массы можно представить равенством

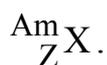
$$1 \text{ а.е.м.} = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 931,5 \text{ МэВ}.$$

Ядра состоят из двух элементарных частиц – протонов и нейтронов. Протон представляет собой ядро простейшего атома-водорода. Он имеет положительный заряд, численно равный заряду электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, и массу покоя $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг = 1836 m_e , где m_e – масса покоя электрона. Масса покоя – это масса частицы (тела), измеренная в той системе координат, где частица неподвижна. Число протонов в ядре называется атомным номером и обозначается буквой Z . Оно совпадает с порядковым номером химического элемента в таблице Менделеева. Очевидно, что заряд ядра равен $Z \cdot e$, поэтому число Z называют также зарядовым числом ядра. Нейтрон электрически нейтрален, а его масса покоя почти совпадает с массой покоя протона: $m_n = 1,6794 \cdot 10^{-27}$ кг = 1839 m_e . Протоны и нейтроны объединяют общим названием – нуклоны. Общее число нуклонов в ядре называют массовым числом A_m :

$$A_m = Z + n_e,$$

где n_e – количество нейтронов в ядре.

Чтобы охарактеризовать химический элемент, используют его символ X и указывают атомный номер и массовое число ядра:



Например, плутоний-239 ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ означает ядро атома плутония, содержащее 94 протона и 145 нейтронов.

В ядрах атомов одного и того же химического элемента число нейтронов может быть различным, а число протонов постоянное. Ядра, содержащие одинаковое число протонов, но различное число нейтронов, называют изотопами. Например, ${}^{11}_6\text{C}$, ${}^{12}_6\text{C}$, ..., ${}^{16}_6\text{C}$ – изотопы углерода. Термин "изотопы" применяется только в тех случаях, когда речь идет об атомах одного и того же элемента. Если подразумеваются атомы разных химических элементов, то используется термин «изобары». Ядра, имеющие одно и то же массовое число A_m при разных Z , называются изобарами. Например, сера-36 и серебро-36 при $Z = 16$ и $Z = 18$ соответственно.

На сегодняшний день известно около 300 устойчивых и свыше 1000 неустойчивых (радиоактивных) изотопов. Это в то время, как в периодической таблице Д. И. Менделеева содержится 110 химических элементов.

Ядра не имеют резко выраженной границы. Поэтому радиус ядра имеет условный смысл. Эмпирическая формула для вычисления радиуса ядра:

$$R = R_0 \cdot A_m^{1/3}, \quad (1.3)$$

где $R = (1,3...1,7) \cdot 10^{-15}$ м,

A_m – массовое число ядра.

Формула (1.3) показывает, что размер чрезвычайно мал даже для ядра с большим числом нуклонов. Он примерно в 10^5 раз меньше размера атома. Зная, что объем шара V пропорционален кубу радиуса, с учетом формулы (1.3) имеем

$$V \sim A_m.$$

Следовательно, объем ядра пропорционален числу нуклонов в нем. Плотность ядерного вещества (δ) постоянна для всех ядер, ее значение

$$\delta \cong 10^{14} \text{ г/см}^3 \text{ или } 10^8 \text{ т/см}^3.$$

Плотностью вещества называют массу, приходящуюся на единицу объема.

Как известно, одноименно заряженные частицы отталкиваются. Поэтому наличие в ядре нескольких положительно заряженных протонов свидетельствует о существовании специфических ядерных сил притяжения, которые преобладают над электрическим отталкиванием протонов. Эти силы обеспечивают стабильность ядер. Поэтому ядерными силами называются силы, связывающие протоны и нейтроны в атомном ядре. Ядерные силы не сводятся ни к одному из типов сил, известных в классической физике (гравитационных, электромагнитных). Они имеют ряд специфических свойств. Важнейшей особенностью ядерных сил является их короткодействие: ядерные силы велики, если расстояние между нуклонами порядка 10^{-15} м, и практически равны нулю, если расстояние между нуклонами превышает 10^{-13} м. Ядерные силы достигают величины, в 100-1000 раз превышающей силу взаимодействия электрических зарядов. Они отличаются зарядовой независимостью, т.е. притяжение между двумя нуклонами

ми одинаково и не зависит от их зарядового состояния, протонного или нейтронного.

Ядерные силы обладают свойством насыщения. Это свойство означает, что с увеличением числа нуклонов в ядре ядерные силы возрастают только для самых легких ядер (изотопов водорода и гелия). А после гелия, они примерно одинаковы для всех других ядер. Свойство насыщения вытекает из короткодействия ядерных сил. Благодаря этому каждый нуклон в ядре взаимодействует только с ограниченным числом ближайших к нему нуклонов. Насыщенностью ядерных сил объясняется пропорциональность объема ядра числу образующих его нуклонов.

Таким образом, ядерные силы являются силами притяжения и проявляются между нуклонами на расстоянии, сравнимом с размерами самих нуклонов.

Измерения ядерных масс показали, что масса ядра M всегда меньше суммы масс составляющих его нуклонов:

$$M < Z \cdot m_p + (A_m - Z) \cdot m_n. \quad (1.4)$$

Согласно формуле Эйнштейна, масса m и энергия E связаны соотношением

$$E = mc^2,$$

где c – скорость света в вакууме.

Изменение массы системы на величину Δm соответствует изменению энергии системы на величину ΔE :

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2. \quad (1.5)$$

Сопоставляя выражения (1.4) и (1.5), можно сделать вывод, что при образовании ядра должна выделяться некоторая энергия. Соответственно, такое же количество энергии необходимо затратить для разделения ядра на составные части. Энергия связи ядра – это энергия или работа, которую необходимо затратить для расщепления (объединения) ядра на соответствующие его нуклоны без придания им кинетической энергии.

Следует подчеркнуть, что энергия связи не содержится в самом ядре. Это энергия, которой не достает ядру по сравнению с суммарной энергией покоя составляющих его нуклонов. В соответствии с выражением (1.5) энергия связи ядра равна

$$E_{cb} = [Z \cdot m_p + (A_m - Z) \cdot m_n - M] \cdot c^2. \quad (1.6)$$

Удельной энергией связи ядра называют энергию связи, приходящуюся на один нуклон, т.е.

$$\Delta E_{cb} = E_{cb} / A_m. \quad (1.7)$$

Зависимость удельной энергии связи атомных ядер от массового числа A_m показана на рис. 1.1.

Из рис. 1.1 видно, что наиболее прочные ядра, т.е. ядра с наибольшей удельной энергией связи, расположены в средней части таблицы Менделеева ($28 < A_m < 138$). По мере увеличения числа нуклонов в тяжелых ядрах удельная энергия связи убывает. Убыль удельной энергии связи с ростом массового числа объясняет возможность выделения энергии при делении тяжелых ядер. У самых легких ядер также наблюдается убыль удельной энергии связи и появля-

ется возможность выделения энергии при слиянии этих ядер. Реакция слияния легких ядер, которую можно реализовать только при температурах в сотни миллионов градусов, называется термоядерным синтезом. Температура должна быть такой, чтобы кинетическая энергия хаотического движения ядер превышала потенциальную энергию их электростатического отталкивания при столкновении. Только в этом случае появляется возможность слияния ядер.

В области малых массовых чисел имеются острые «пики» удельной энергии связи. Максимумы характерны для ядер с четными и одинаковыми числами протонов и нейтронов (${}^4_2\text{He}$, ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{16}_8\text{O}$), минимумы – для ядер с нечетными количествами протонов и нейтронов (${}^6_3\text{Li}$, ${}^{10}_5\text{B}$, ${}^{14}_7\text{N}$).

Деление тяжелых ядер с выделением энергии используется на АЭС и в ядерном боеприпасе.

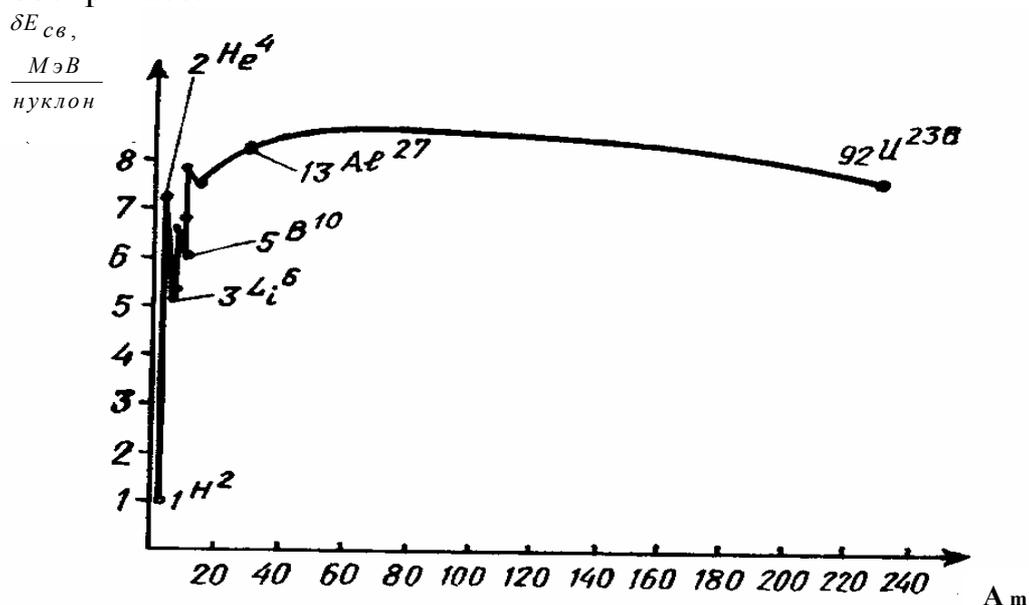


Рис. 1.1 Зависимость удельной энергии связи атомных ядер от их массового числа

1.2. Явление радиоактивности. Основной закон радиоактивного распада

Критерием устойчивости атомных ядер является соотношение между числом протонов и нейтронов. С ростом Z силы кулоновского отталкивания протонов резко возрастают. Для компенсации этого отталкивания ядерным притяжением число нейтронов должно возрасти быстрее числа протонов.

Несмотря на то, что чем больше массовое число, тем выше доля нейтронов в ядре, ядра тяжелых элементов становятся все менее устойчивыми. Поэтому у ядер атомов химических элементов, расположенных за свинцом в периодической системе Менделеева, наблюдается процесс естественного распада.

Процесс самопроизвольного превращения неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотопы другого элемента, сопровождающихся испусканием элементарных частиц и излучением квантов энергии, называется радиоактивностью вещества.

Радиоактивность, наблюдающаяся у изотопов, существующих в природных условиях, называется естественной. Радиоактивность изотопов, полученных посредством ядерных реакций, называется искусственной.

Вещество является радиоактивным, если оно содержит радионуклиды. Под радионуклидом понимают радиоактивное ядро с присущими ему Z и A_m .

Распад большого количества ядер любого радиоактивного вещества подчиняется статическому закону, в котором учитывается, что распад данного ядра является случайным событием, имеющим определенную вероятность.

Если в начальный момент времени t_0 в веществе содержалось N_0 радиоактивных ядер, то спустя время t их число станет равным N

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1.8)$$

где N_0 – количество ядер в данном объеме вещества в момент времени $t = 0$;

N – количество ядер в том же объеме вещества в момент времени t ;

λ – постоянная радиоактивного распада.

Постоянная λ имеет смысл вероятности распада ядер за единицу времени. Это отношение доли ядер dN/N , распадающихся за интервал времени dt , к этому интервалу времени:

$$\lambda = (1/N) \cdot (dN/dt).$$

Постоянная радиоактивного распада показывает среднее время жизни радиоактивного ядра, оцениваемое выражением

$$\lambda = \frac{1}{\tau}, \quad (1.9)$$

где τ – продолжительность жизни радионуклида.

Для характеристики устойчивости ядер относительно распада пользуются понятием периода полураспада $T_{1/2}$. Он равен времени, в течение которого исходное количество ядер данного вещества распадается наполовину, т.е. $N = 1/2 N_0$. Связь между $T_{1/2}$ и λ вытекает из выражения (1.8). Если $e^{-\lambda \cdot T_{1/2}} = \frac{1}{2}$, то

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda \quad (1.9)$$

Периоды полураспада у различных радионуклидов могут быть весьма различными - от долей секунды до сотен и тысяч лет. Очевидно, спустя время $T_{1/2}$, $2T_{1/2}$, $3T_{1/2}$, $4T_{1/2}$ и т.д. будет оставаться соответственно 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 часть радионуклидов от их начального N_0 .

Процесс радиоактивного распада сопровождается выделением энергии и возбуждением других процессов в веществе. При этом выполняются законы сохранения энергии, электрического заряда и другие законы материального мира.

Число распадов ядер данного вещества в единицу времени характеризует активность вещества. Согласно выражению (1.8) активность определяется величиной

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \text{ или } A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (1.10)$$

где $A_0 = \lambda \cdot N_0$ – радиоактивность вещества в начальный момент времени.

Из сравнения выражений (1.8) и (1.10) следует, что активность вещества с течением времени уменьшается по закону радиоактивного распада, но в любой момент времени ее уровень существенно зависит от начальной активности:

$$A_0 = \lambda \cdot N_0 = (\ln 2 / T_{1/2}) \cdot N_0 = (0,693 / T_{1/2}) \cdot N_0, \quad (1.11)$$

Начальная активность в свою очередь определяется начальным содержанием радионуклидов N_0 и периодом полураспада $T_{1/2}$. При большом значении периода полураспада $T_{1/2}$ спад активности вещества происходит медленно, а при малом значении $T_{1/2}$ – наоборот, быстро. Вместе с тем при одном и том же значении N_0 начальная активность при малом значении $T_{1/2}$ выше, чем при большом значении.

За единицу измерения активности в системе СИ принят беккерель (Бк). Это активность данного количества вещества, если в нем за одну секунду происходит распад одного радионуклида. Эта единица активности мала, поэтому используются кратные ей единицы – килобеккерель (кБк) или мегабеккерель (МБк). Часто используется внесистемная единица активности – кюри (Ки). Такой активностью обладает один грамм радия, в котором за одну секунду происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов. Это большая единица, поэтому на практике применяют меньшие единицы – милликюри (мКи) и микрокюри (мкКи). Взаимосвязь между единицами радиоактивности:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Ки} &= 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}; \\ 1 \text{ мКи} &= 37 \text{ МБк}; \\ 1 \text{ мкКи} &= 37 \text{ кБк}. \end{aligned}$$

Если радионуклиды распределены по объему вещества (в продуктах питания, питьевой воде и т.д.) или по его поверхности, то пользуются соответственно объемной $A_{об}$ и поверхностной A_s активностью. Тогда $A_{об}$ измеряется в Бк/м³, Бк/л или Ки/л, а A_s в Бк/м², Ки/м². Для оценки загрязнения продуктов питания используют также удельную активность A_m , измеряемую в Бк/кг или Ки/кг.

Массу радионуклида m активностью A можно определить из выражения

$$m = k \cdot A_m \cdot T_{1/2} \cdot A, \quad (1.12)$$

где A_m – атомная масса радионуклида;

k – константа, зависящая от избранных единиц измерения.

Если период полураспада задан в сутках, активность – в беккерелях, а масса в граммах, то

$$K = 2,07 \cdot 10^{-19}.$$

Характеризуя в целом устойчивость ядер, следует заметить, что она снижается с возрастанием их массового числа. Естественная радиоактивность легких и средних ядер – редкое явление. Среди тяжелых атомов, начиная с $A_m > 200$, естественная радиоактивность есть универсальное явление. Они образуют радиоактивные семейства, называемые по наиболее живущему (с наибольшим $A_{1/2}$) «родоначальнику» семейства, например, семейство урана (от ${}_{92}^{238}\text{U}$).

В настоящее время известно 10 элементов с $Z > 92$, называемых трансура-

новыми. К трансурановым элементам относятся: нептуний ($^{237}_{93}\text{U}$), плутоний ($^{244}_{94}\text{Pu}$), америций ($^{243}_{95}\text{Am}$), кюрий ($^{248}_{96}\text{Cm}$), бериллий ($^{248}_{96}\text{Be}$), калифорний ($^{249}_{98}\text{Cf}$), эйнштейний ($^{254}_{99}\text{Es}$), фермий ($^{253}_{100}\text{Fm}$), менделевий ($^{256}_{101}\text{Md}$) и нобелий ($^{253}_{102}\text{No}$).

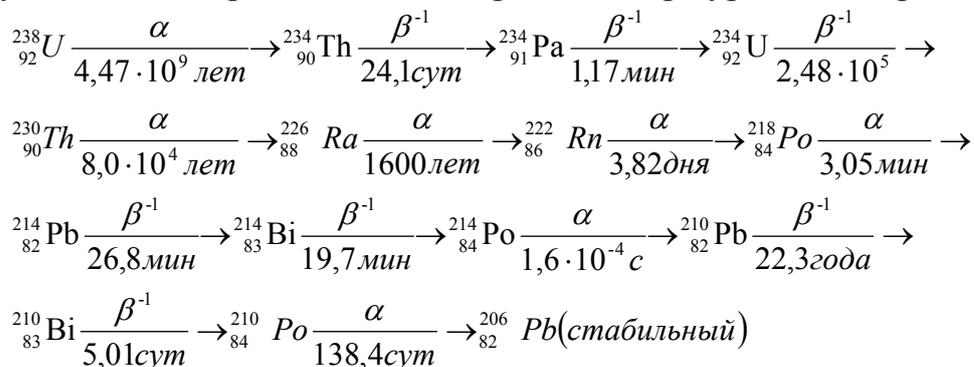
Элементы, расположенные в таблице Менделеева за ураном, имеющим $Z = 92$, в природе не встречаются. Они были получены искусственным путем.

Всем трансурановым элементам присуща радиоактивность с периодом полураспада, быстро уменьшающимся при возрастании Z . Основными видами радиоактивного превращения трансурановых элементов являются альфа-распад и бета-распад. Цепочку радиоактивных превращений принято называть радиоактивным рядом. Совокупность химических элементов, образующих радиоактивный ряд, называется радиоактивным семейством.

Первичный элемент семейства урана $^{238}_{92}\text{U}$, распадаясь, испускает альфа-частицу и превращается в торий $^{234}_{90}\text{Th}$. Торий тоже радиоактивен и, испуская бета-частицу, превращается в протактиний $^{234}_{91}\text{Pa}$. Протактиний тоже радиоактивен, т.е. цепочка радиоактивных превращений продолжается. Процесс радиоактивного распада ядра урана-238 показан на схеме 1.1, на которой указаны виды распада ядер и периоды их полураспада $T_{1/2}$.

Вся цепочка состоит из 14 радиоактивных превращений и заканчивается радиоактивный ряд урана устойчивым изотопом свинца $^{206}_{82}\text{Pb}$. Из 14 радиоактивных превращений 7 являются альфа-превращениями и 7 бета-превращениями.

Все природные радиоактивные элементы, расположенные в последних рядах таблицы Менделеева, являются членами трех радиоактивных семейств. Другим радиоактивным семейством (после семейства урана) является семейство тория $^{232}_{90}\text{Th}$, третьим – семейство актиния $^{227}_{89}\text{Ac}$. Радиоактивное семейство искусственных радиоактивных изотопов начинается трансурановым элементом-нептунием. Схема радиоактивного распада ядра урана-238 приведена ниже.



1.3. Альфа-распады, бета-распады и гамма-излучения радиоактивных ядер

Альфа-распадом называется самопроизвольное испускание радиоактивным ядром альфа-частиц, представляющих ядра атома гелия. Распад протекает по схеме



В выражении (1.13) буквой X обозначен химический символ распадающегося (материнского) ядра, буквой Y – химический символ образующегося (дочернего) ядра. Как видно из схемы (1.13), атомный номер дочернего ядра на две, а массового числа – на четыре единицы меньше, чем у исходного ядра.

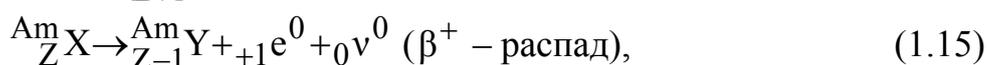
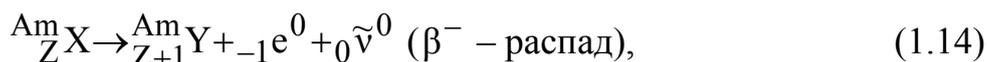
Заряд альфа-частицы положительный. Альфа-частицы характеризуют двумя основными параметрами: длиной пробега (в воздухе до 9 см, в биологической ткани до 10^{-3} см) и кинетической энергией в пределах 2...9 МэВ.

Альфа-распад наблюдается только у тяжелых ядер с $A_m > 200$ и зарядовым числом $Z > 82$. Внутри таких ядер происходит образование обособленных частиц из двух протонов и двух нейтронов. Обособлению этой группы нуклонов способствует насыщение ядерных сил, так что сформировавшаяся альфа-частица подвержена меньшему действию ядерных сил притяжения, чем отдельные нуклоны. Одновременно альфа-частица испытывает большее действие кулоновских сил отталкивания от протонов ядра, чем отдельные протоны. Этим объясняется вылет из ядра альфа-частиц, а не отдельных нуклонов.

В большинстве случаев радиоактивное вещество испускает несколько групп альфа-частиц близкой, но различной энергии, т.е. группы имеют спектр энергии. Это обусловлено тем, что дочернее ядро может возникнуть не только в основном, но и в возбужденных состояниях с различными энергетическими уровнями.

Время жизни возбужденных состояний для большинства ядер лежит в пределах от 10^{-8} до 10^{-15} с. За это время дочернее ядро переходит в основное или более низкое возбужденное состояние, испуская гамма-квант соответствующей энергии, равной разности энергии предыдущего и последующего состояний. Возбужденное ядро может испустить также какую-либо частицу: протон, нейтрон, электрон или альфа-частицу. Оно может и отдать избыток энергии одному из окружающих ядро электронов внутреннего слоя. Передача энергии от ядра к самому близкому электрону К-слоя происходит без испускания гамма-кванта. Получивший энергию электрон вылетает из атома. Этот процесс называется внутренней конверсией. Образовавшееся вакантное место заполняется электронами с вышележащих энергетических уровней. Электронные переходы во внутренних слоях атома приводят к испусканию рентгеновских лучей, имеющих дискретный энергетический спектр (характеристических рентгеновских лучей). Всего известно около 25 естественных и около 100 искусственных альфа-радиоактивных изотопов.

Бета-распад объединяет три вида ядерных превращений: электронный (β^-) и позитронный (β^+) распады, а также электронный захват или К-захват. Первые два вида превращений состоят в том, что ядро испускает электрон и антинейтрино (при β^- – распаде) или позитрон и нейтрино (при β^+ – распаде). Электрон (позитрон) и антинейтрино (нейтрино) не существуют в атомных ядрах. Эти процессы происходят путем превращения одного вида нуклона в ядре в другой – нейтрона в протон или протона в нейтрон. Результатом указанных превращений являются β -распады, схемы которых имеют вид:



где ${}_{-1}e^0$ и ${}_{+1}e^0$ – обозначение электрона и позитрона,

${}_0\nu^0$ и ${}_0\tilde{\nu}^0$ – обозначение нейтрино и антинейтрино.

При отрицательном бета-распаде зарядовое число радионуклида увеличивается на единицу, а при положительном бета-распаде – уменьшается на единицу.

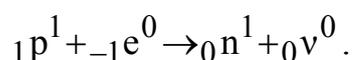
Электронный распад (β^- – распад) могут испытывать как естественные, так и искусственные радионуклиды. Именно этот вид распада характерен для подавляющего числа экологически наиболее опасных радионуклидов, попавших в окружающую среду в результате Чернобыльской аварии. В их числе ${}^{134}_{55}\text{Cs}$, ${}^{137}_{55}\text{Cs}$, ${}^{90}_{38}\text{Sr}$, ${}^{131}_{53}\text{I}$ и др.

Позитронный распад (β^+ – распад) свойственен преимущественно искусственным радионуклидам.

Поскольку при β -распаде из ядра вылетают две частицы, а распределение между ними общей энергии происходит статистически, то спектр энергии электронов (позитронов) является непрерывным от нуля до максимальной величины E_{\max} называемой верхней границей бета-спектра. Для бета-радиоактивных ядер величина E_{\max} заключена в области энергии от 15 кэВ до 15 МэВ. Длина пробега бета-частицы в воздухе до 20 м, а в биологической ткани до 1,5 см.

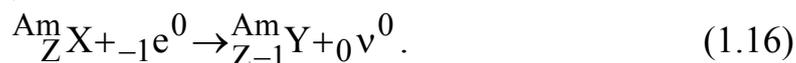
Бета-распад обычно сопровождается испусканием гамма-лучей. Причина их возникновения та же, что и в случае альфа-распада: дочернее ядро возникает не только в основном (стабильном), но и в возбужденном состоянии. Переходя затем в состояние меньшей энергии, ядро испускает гамма-фотон.

При электронном захвате происходит превращение одного из протонов ядра в нейтрон:



При таком превращении исчезает один из ближайших к ядру электронов (электрон К-слоя атома). Протон, превращаясь в нейтрон, как бы «захватывает» электрон. Отсюда произошел термин «электронный захват». Особенностью

этого вида β -распада является вылет из ядра одной частицы – нейтрино. Схема электронного захвата имеет вид



Электронный захват в отличие от β^{\pm} -распадов всегда сопровождается характеристическим рентгеновским излучением. Последнее возникает при переходе более удаленного от ядра электрона на появляющееся вакантное место в К-слое. Длина волн рентгеновских лучей в диапазоне от 10^{-7} до 10^{-11} м.

Таким образом, при бета-распаде сохраняется массовое число ядра, а его заряд изменяется на единицу. Периоды полураспада бета-радиоактивных ядер лежат в широком интервале времен от 10^{-2} с до $2 \cdot 10^{15}$ лет.

К настоящему времени известно около 900 бета-радиоактивных изотопов. Из них только около 20 являются естественными, остальные получены искусственным путем. Подавляющее большинство этих изотопов испытывают β^{-} -распад, т.е. с испусканием электронов.

Все виды радиоактивного распада сопровождаются гамма-излучением. Гамма-лучи – коротковолновое электромагнитное излучение, которое не относится к самостоятельному виду радиоактивности. Экспериментально установлено, что гамма-лучи испускаются дочерним ядром при переходах ядер из возбужденных энергетических состояний в основное или менее возбужденное. Энергия гамма-лучей равна разности энергий начального и конечного энергетических уровней ядра. Длина волны гамма-лучей не превышает 0,2 нанометра.

Процесс гамма-излучения не является самостоятельным типом радиоактивности, так как он происходит без изменения Z и Am ядра.

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под массовым и зарядовым числами в периодической системе Менделеева?
2. Понятие «изотопы» и «изобары». В чем различие этих терминов?
3. Ядерные силы ядра и важнейшие их особенности.
4. Почему масса ядра меньше суммы масс составляющих его нуклидов?
5. Какие вещества называются радиоактивными?
6. Что характеризует и показывает постоянная радиоактивного распада?
7. Дайте определение периода полураспада вещества.
8. Перечислите единицы измерения объемной, поверхностной и удельной активности.
9. Основные виды излучений радиоактивных ядер и их параметры.

2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Все виды ядерного излучения могут быть обнаружены только по их взаимодействию с веществом. Процессы, которые возникают при прохождении ядерного излучения через вещество, имеют важное практическое значение. Знание таких процессов необходимо, во-первых, для понимания принципа работы дозиметрической и радиометрической аппаратуры, а во-вторых, для способов защиты населения от ионизирующих излучений.

При прохождении через вещество частицы взаимодействуют с атомами, из которых оно состоит, т.е. с электронами и атомными ядрами. Причем это взаимодействие можно разделить на два вида:

а) взаимодействие частиц с атомными электронами, в результате которого энергия частицы передается одному из электронов атома, что приводит к возбуждению или ионизации атома. Этот вид взаимодействия является неупругим столкновением (рассеянием). В неупругом столкновении имеет место выделение или поглощение энергии;

б) взаимодействие частиц с ядрами атомов приводит к изменению направления движения заряженных частиц, при этом траектория движения их искривляется. Такое взаимодействие не приводит к изменению внутренней энергии атома, и этот случай взаимодействия является упругим столкновением (рассеянием). При упругом рассеянии частицы не претерпевают превращения, а изменяют состояние своего движения.

Все процессы рассеяния и распадов подчиняются законам сохранения энергии, электрического заряда, импульса и др.

2.1. Взаимодействие альфа-частиц с веществом

Альфа-частицы, проходя через слой вещества, взаимодействуют с атомными ядрами и электронами.

Упругое рассеяние альфа-частиц на ядрах атомов вещества маловероятно, так как, во-первых, масса ядра значительно больше массы частицы, во-вторых, ядро и альфа-частицы имеют одинаковый (положительный) электрический заряд. В процессе упругого столкновения альфа-частицы с ядром она отклоняется на малый угол. Таким образом, путь альфа-частицы в веществе (среде) практически прямолинеен.

При неупругом рассеянии энергия альфа-частицы передается атомным электронам. Получив эту энергию, атомы вещества возбуждаются или ионизируются. И в том, и в другом случае потери энергии частицы называются ионизационными. Если концентрация электронов в веществе равна n_e , то потери энергии частицы (ионизационные потери) в результате ее взаимодействия со всеми встречающимися на ее пути электронами будут определяться величиной $-(dE/dx)_{\text{ион}}$ – уменьшением энергии частицы на единице пути. Ионизационные потери характеризуются величиной средней потери энергии на единице пути.

Эти потери пропорциональны энергии частицы E_α , концентрации электронов в веществе n_e и обратно пропорциональны скорости движения частицы V , т.е.

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}} \cong \frac{E_\alpha^2 \cdot n_e}{V_\alpha^2}. \quad (2.1)$$

Потери энергии сильно зависят от скорости частицы - они тем больше, чем меньше скорость частицы. При очень малых скоростях частицы формула (2.1) дает завышения значения для потерь энергии частицы и кривая потерь уходит в бесконечность. Однако при малых скоростях имеет место захват электронов движущейся частицей. Это приводит к меньшим потерям энергии по сравнению с тем, что дает формула (2.1). При этом кривая потерь не уходит в бесконечность, а достигает максимума, после чего начинает постепенно снижаться.

Таким образом, при каждом акте ионизации альфа-частица выбивает из атома один или несколько электронов. Наиболее быстрые из этих электронов способны создавать вторичную ионизацию, в результате которой вторичные электроны можно зарегистрировать с помощью приборов.

2.2. Взаимодействие бета-частиц с веществом

По сравнению с альфа-частицами прохождение бета-частиц через вещество имеет свои особенности. Основная особенность обусловлена малой массой электрона и позитрона по сравнению с массой альфа-частицы. При взаимодействии бета-частицы с веществом имеют место как ионизационные, так и радиационные потери. Механизм ионизационных потерь для бета-частиц такой же, как и для альфа-частиц. Поэтому потери энергии на ионизацию и в этом случае рассчитываются по той же формуле (2.1). Однако ионизационные потери для бета-частиц во много раз меньше, чем для альфа-частиц, так как масса альфа-частицы значительно больше массы электрона. Именно поэтому у альфа-частиц и бета-частиц различная проникающая способность. При одинаковых энергиях скорость тяжелой частицы (альфа-частицы) меньше скорости легкой частицы (бета-частицы). Альфа-частицы теряют свою первоначальную энергию на меньшем расстоянии при движении в веществе, чем пролетающие в веществе электроны (бета-частицы). В воздухе альфа-частица проходит несколько сантиметров, а бета-частица - десятки метров.

При движении через вещество бета-частиц в результате взаимодействия одной из них с электроном вещества происходит изменение направления движения бета-частицы. Поэтому траектория движения бета-частицы в веществе представляет собой ломаную линию. При взаимодействии бета-частиц с ядром имеет место перераспределение кинетической энергии между ядром и частицей. Поэтому такое взаимодействие является упругим столкновением. Потери энергии частицы при взаимодействии с ядрами вещества невелики, так как масса частицы меньше массы ядра и число ядер в веществе во много раз меньше числа электронов.

Кроме того, за счет заряда протонов ядра вокруг него создается кулоновское поле. Кулоновские силы пропорциональны заряду ядра. Под действием

кулоновских сил заряженная бета-частица, имея малую массу, получает ускорение. Согласно классической электродинамике любая заряженная частица, движущаяся с ускорением, излучает электромагнитные волны, интенсивность которых пропорциональна квадрату ускорения частицы. Это излучение называется тормозным, а длина его волны соответствует длине волны рентгеновского излучения.

Потери на тормозное излучение существенны для легких частиц-электронов.

Эти причины приводят к тому, что потери энергии частицы на взаимодействия с ядрами, т.е. радиационные потери $-(dE/dx)_{\text{рад}}$, значительно меньше потерь энергии частицы на ионизацию и оцениваются выражением

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{рад}} \cong \frac{E_{\beta}^2}{m_{\beta}^2}, \quad (2.2)$$

где E_{β} – энергия бета-частицы;

m_{β} – масса бета-частицы.

Потери на тормозное излучение пропорциональны заряду ядра. Поэтому для тяжелых элементов они более существенны, чем для легких. Отсюда следует, что вклад тормозного излучения в полную потерю энергии бета-частицы возрастает с увеличением ее кинетической энергии в тяжелых веществах.

2.3. Взаимодействие гамма-излучения с веществом

Гамма- и рентгеновское излучения представляют собой электромагнитные волны. Рентгеновское излучение возникает при взаимодействии заряженных частиц с атомами вещества, а гамма-излучение испускается при переходе атомных ядер из возбужденных состояний в состояние с меньшей энергией. Длина волны гамма-излучения обычно менее 0,2 нанометров. Для этих видов излучения не существует понятий пробега, потерь энергии на единицу пути.

Гамма-лучи, проходя через вещество, взаимодействуют как с электронами, так и с ядрами атомов среды (вещества). В результате взаимодействия интенсивность лучей уменьшается. Для однородного вещества ослабление лучей происходит по экспоненциальному закону

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \quad (2.3)$$

где I – интенсивность лучей (пучка) после прохождения слоя вещества толщиной x ;

I_0 – начальная интенсивность лучей;

μ – линейный коэффициент ослабления.

Линейный коэффициент ослабления энергии излучения – это относительное изменение интенсивности направленного излучения на единицу толщины вещества (среды). Если рассматривается не толщина среды (вещества), а ее масса, то пользуются термином массового коэффициента ослабления излучения μ_m , который оценивается выражением

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho},$$

где ρ – плотность поглотителя.

Поглощение гамма-квантов веществом обусловлено в основном тремя процессами: фотоэффектом, комптоновским рассеянием и рождением в кулоновском поле ядра электрон-позитронных пар.

Фотоэффект имеет место в том случае, когда энергия гамма-кванта $E_{\gamma-кв.}$ примерно равна энергии связи электронов с ядром вещества (энергия связи атома $E_{св. ат.}$), т.е. $E_{\gamma-кв.} \cong E_{св. ат.}$.

В этом случае гамма-квант взаимодействует с атомным электроном вещества, т.е. энергия гамма-кванта поглощается электроном. Электрон атома, получив энергию кванта, выбивается из атома и атом переходит в состояние иона.

Процесс поглощения гамма-кванта атомным электроном, при котором электрон покидает пределы атома, называют фотоэффектом. Наименьшую энергию связи имеют электроны К-оболочки атома. Поэтому К-оболочка дает максимальный фотоэффект.

При меньшей энергии гамма-кванта атомные электроны смещаются на другие орбиты и атом переходит в возбужденное состояние.

Однако ион или возбужденный атом будет стремиться занять нейтральное (исходное) состояние. При переходе в нейтральное состояние ион или возбужденный атом будет излучать электромагнитную энергию на длине волны рентгеновских лучей.

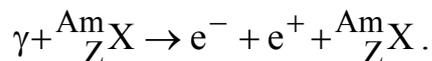
Энергия связи электрона в атоме увеличивается с ростом атомного номера Z , поэтому фотоэффект идет интенсивней в более тяжелых веществах.

С увеличением энергии гамма-кванта, когда она становится значительно больше энергии связи электрона в атоме, основным механизмом поглощения энергии излучения веществом является эффект Комптона или комптоновское рассеяние. Этот процесс состоит в том, что гамма-квант отдает часть своей энергии свободному электрону. Весь процесс можно представить как абсолютно упругий удар гамма-кванта и свободного электрона, который до удара можно считать покоящимся. В результате упругого удара гамма-квант изменяет направление своего движения – рассеивается. Уменьшение энергии гамма-кванта зависит при этом только от угла рассеяния. Интенсивность комптоновского рассеяния пропорциональна числу свободных электронов в веществе.

При энергии гамма-кванта 1,02 и более МэВ наряду с фотоэффектом и комптоновским рассеянием происходит уничтожение гамма-квантов за счет образования электронно-позитронных пар ($e^+ + e^-$). Это возможно, если энергия гамма-кванта больше суммы энергий покоя электрона и позитрона, каждая из которых равна 0,511 МэВ. Но свободный гамма-квант, обладая достаточной энергией, не может превратиться в пару электрон-позитрон, так как это противоречило бы законам сохранения энергии и импульса. Превращение гамма-кванта в пару электрон-позитрон при условии достаточной энергии гамма-кванта может произойти только в присутствии третьего тела (частицы), кото-

рыми могут быть в веществе электрон или ядро.

Чаще образование пар происходит в присутствии ядра атома. Схема образования пары электрон-позитрон в кулоновском поле ядра ${}^A_Z X$ имеет вид



При энергии гамма-квантов $E_{\gamma-кв.}$, в несколько раз превышающей 1,02 МэВ, образование пар электрон-позитрон и комптоновское рассеяние являются преобладающими процессами, приводящими к ослаблению гамма-излучения веществом. При более высоких значениях $E_{\gamma-кв.}$ образование электронно-позитронных пар являются основной причиной поглощения гамма-излучения, особенно для тяжелых металлов. Так в свинце поглощения гамма-квантов за счет образования пар ($e^+ + e^-$) уже при энергии $E_{\gamma-кв.} = 5$ МэВ становится преобладающим.

Вклад фотоэффекта μ_{ϕ} , комптоновского рассеяния $\mu_{к}$ и образования электрон-позитронных пар $\mu_{пар}$ в суммарное поглощение гамма-излучения свинцом μ показан на рис. 2.1.

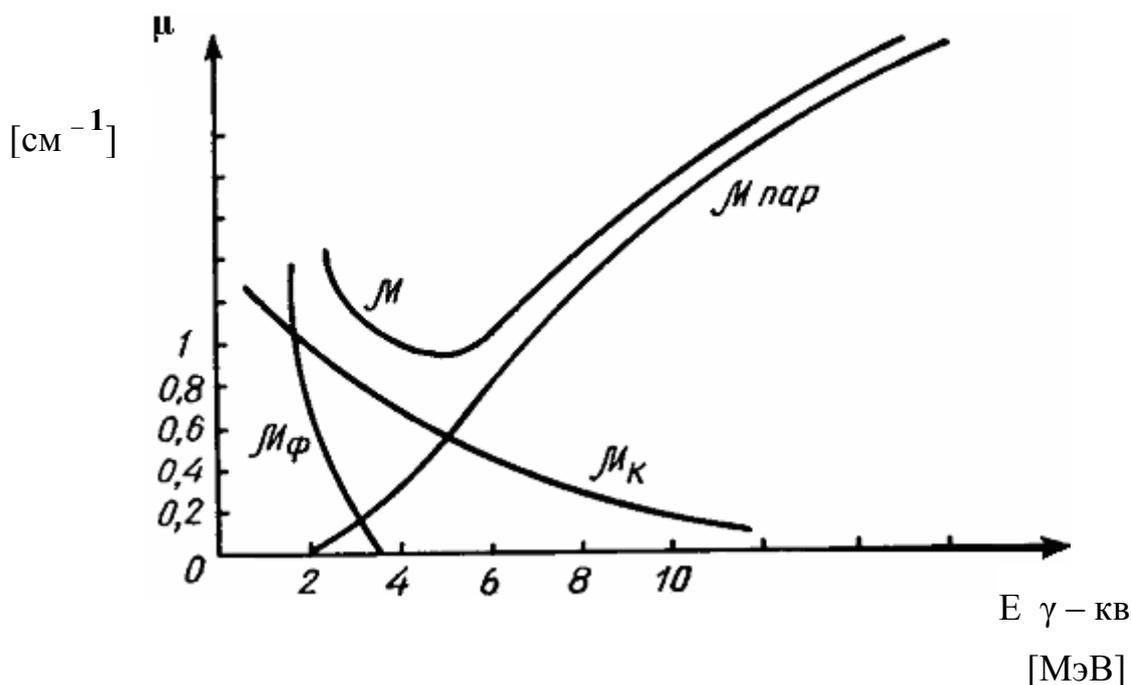


Рис.2.1. Зависимость суммарного поглощения гамма-излучения от энергии

В процессе образования пар энергия гамма-кванта распределяется между электроном и позитроном. Образовавшиеся электрон и позитрон теряют эту энергию на ионизацию атомов вещества. В случае столкновения электрона и позитрона образуются два новых гамма-кванта.

2.4. Взаимодействие нейтронов с веществом

Проходя через вещество, нейтроны практически не взаимодействуют с атомными электронами, так как нейтроны не имеют электрического заряда. В основном нейтроны взаимодействуют с атомными ядрами вещества. Так как ядра занимают малую часть объема атома, то проникающая способность нейтронов намного больше, чем заряженных частиц. В зависимости от того, попадает нейтрон в ядро или нет, его взаимодействие с ядром подразделяют на два класса:

а) упругое рассеяние под действием ядерных сил без попадания в ядро (упругое столкновение);

б) различные ядерные реакции, вызванные попаданием нейтрона в ядро.

Вид взаимодействия или реакции существенно зависит от кинетической энергии нейтрона. По величине энергии нейтроны делятся на три основных вида: тепловые с энергией в пределах 10^{-3} $0,5$ эВ, резонансные – $0,5$ 10^4 эВ и быстрые – 10^4 10^8 эВ.

Упругое рассеяние можно рассматривать как упругое столкновение двух шаров: нейтрона и ядра. При этом электрон передает часть кинетической энергии ядру. Расчеты показывают, что средняя энергия нейтронов после одного столкновения с ядром уменьшается вдвое.

При прохождении нейтрона через вещество, под действием его происходят различные ядерные реакции. Ядерными реакциями называются превращения атомных ядер, происходящие в результате их взаимодействия с элементарными частицами или друг с другом. Ядерные реакции осуществляются в основном при бомбардировке ядер быстрыми частицами. В результате столкновения появляются новые частицы, перераспределяется энергия между частицей и ядром (или между сталкивающимися ядрами).

Перестройка ядер в процессе реакции сопровождается изменением их внутренней энергии и, следовательно, энергии покоя ядер. Разность энергий покоя E_2 и после реакции E_1 называют энергией реакции Q , т.е.

$$Q = E_2 - E_1.$$

При $Q > 0$ в результате реакции выделяется кинетическая энергия за счет уменьшения энергии покоя ядра. Такая реакция может идти при любой кинетической энергии частицы, достаточной для преодоления сил кулоновского отталкивания.

При $Q < 0$ реакция идет с уменьшением кинетической энергии, за счет которой возрастает энергия покоя. Такая реакция может идти только при больших энергиях частицы, превышающей некоторое минимальное, пороговое значение.

При $Q = 0$ происходит упругое рассеяние, при котором сохраняется как полная, так и суммарная кинетическая энергия. А значит, и суммарная энергия покоя.

Ядерные реакции с участием нейтронов часто приводят к появлению радиоактивных изотопов.

Таким образом, прохождение всех радиоактивных излучений через веще-

ство приводит к ионизации его атомов. В связи с этим радиоактивные излучения называют ионизирующими. В общем случае под ионизирующим излучением понимают любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков. Различают непосредственно ионизирующее и косвенно ионизирующее излучение. Непосредственно ионизирующее - это излучение, состоящее из заряженных частиц, имеющих кинетическую энергию, достаточную для ионизации при столкновении. Косвенно ионизирующее - это излучение, состоящее из незаряженных частиц, которые в результате взаимодействия со средой могут создавать непосредственно ионизирующее излучение. К непосредственно ионизирующим излучениям относятся альфа- и бета-излучения, а к косвенно ионизирующим - гамма- и рентгеновские лучи.

2.5. Методы регистрации ионизирующих излучений

Важнейшим элементом большинства приборов для обнаружения и регистрации количественных характеристик ионизирующих излучений является детектор (приемник). Принцип работы и устройство детектора определяются характером взаимодействия излучения с веществом. Детектирование ионизирующего излучения основано на регистрации эффектов, которые вызывает излучение при прохождении через вещество. К таким эффектам относятся: ионизация и возбуждение атомов вещества; свечение некоторых веществ; изменение цвета химических растворов и др. Количественными характеристиками регистрируемых эффектов являются число образовавшихся носителей заряда, число образовавшихся фотонов и др.

К основным характеристикам детекторов всех типов относятся эффективность регистрации, временное разрешение и время восстановления.

Эффективность регистрации - это отношение числа зарегистрированных частиц (гамма-квантов) к полному числу частиц, прошедших за это же время через детектор.

Временное разрешение (разрешающее время) определяется минимальным промежутком времени между двумя последовательными актами регистрации, в течение которого детектор остается нечувствительным к радиоактивному излучению.

Временное восстановление - это интервал времени, в течение которого детектор, зарегистрировав одну частицу, успевает вернуться в исходное состояние для регистрации следующей частицы.

По методу регистрации детекторы разделяют на ионизационные, сцинтилляционные, фотографические, химические и др.

Ионизационный метод основан на обнаружении эффекта ионизации атомов вещества под действием ионизирующего излучения. Под воздействием излучений происходит ионизация воздуха или газа. Нейтральные атомы газа или воздуха в изолированном объеме после воздействия разделяются на положительные и отрицательные ионы. Если в этом объеме поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение, то между электродами создается электрическое поле. При наличии электрического поля в ионизированном газе

или воздухе возникает направленное движение частиц (ионов), т.е. через газ протекает электрический ток, называемый ионизационным. Измеряя ионизационный ток, можно судить об интенсивности ионизирующих излучений.

К приборам, работающим на основе ионизационного эффекта, относят ионизационные камеры и счетчики. Принципиальные схемы ионизационной камеры и счетчика одинаковы.

Ионизационная камера представляет собой заполненный воздухом замкнутый объем, внутри которого находятся два изолированных друг от друга электрода. К электродам приложено напряжение от источника постоянного тока (до 1000 В). При отсутствии ионизирующего излучения в цепи ионизационной камеры тока не будет, так как воздух является изолятором. При воздействии излучений в ионизационной камере атомы воздуха ионизируются. В электрическом поле положительные ионы перемещаются к катоду, а отрицательные - к аноду. В цепи камеры возникает ионизационный ток, который регистрируется прибором. Числовое значение ионизационного тока пропорционально мощности ионизирующего излучения. Следовательно, по ионизационному току можно судить о мощности дозы излучения, воздействующей на камеру. Ионизационные камеры просты и характеризуются высокой эффективностью регистрации, но имеют ряд недостатков. Так, для измерения полной энергии ионизирующей частицы необходимо, чтобы ее пробег целиком уместился в камере. Поэтому ионизационные камеры пригодны для измерения энергии только сильноионизирующих частиц с малым пробегом (альфа-частиц или осколков деления). Ионизационные камеры чувствительны к помехам и шумам.

Недостатки ионизационных камер в значительной мере преодолены в газоразрядных счетчиках. До настоящего времени в дозиметрии и радиометрии наиболее широкое применение получили счетчики Гейгера-Мюллера. Промышленностью выпускаются два вида счетчиков Гейгера – цилиндрические и торцевые. Цилиндрический счетчик Гейгера (рис. 2.2а) представляет собой герметично запаиваемую тонкостенную металлизированную трубку 1 (катод), вдоль оси, которой натянута металлическая нить 2 (анод), толщиной 10-100 мкм.

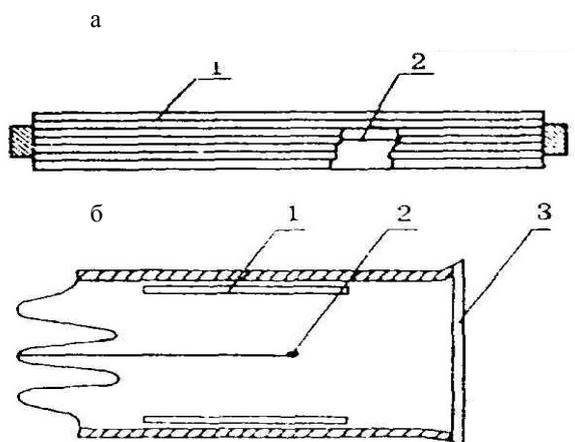


Рис. 2.2. Схемы газоразрядных счетчиков

У торцевых счетчиков Гейгера (рис. 2.2б) в металлическом или стеклянном металлизированном корпусе 1 (катоде) в торцевой части имеется тонкое слюдяное окошко 3. Счетчик заполняется газом-аргоном или неоном. Электроды счетчика, в зависимости от его типа, находятся под напряжением 250-1000 В. Величина рабочего напряжения зависит от конструкции счетчика и состава заполняющей его газовой смеси. Электрическая схема включения счетчика приведена на рис. 2.3.

Ионизирующее излучение проникает в цилиндрический счетчик через его боковую поверхность, в торцовый – через слюдяное окошко. При воздействии ионизирующего излучения в рабочем объеме счетчика образуются заряженные частицы. Электроны, двигаясь в электрическом поле к аноду счетчика, площадь которого значительно меньше площади катода, приобретают кинетическую энергию, достаточную для дополнительной ионизации атомов газовой среды. Выбитые при этом электроны также производят ионизацию. Таким образом, одна частица ионизирующего излучения, попавшая в объем смеси газового счетчика, вызывает образование лавины свободных электронов. На аноде счетчика собирается большое количество электронов. В результате этого положительный потенциал резко уменьшается и возникает электрический импульс.

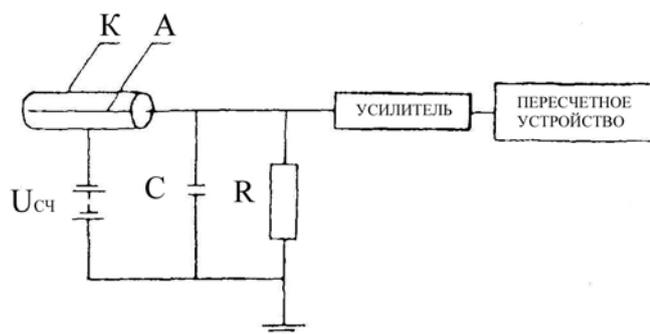


Рис. 2.3. Схема включения счетчика в сеть

Число импульсов тока, возникающих в счетчике, зависит от напряжения между его электродами. Зависимость скорости счета импульсов n (числа импульсов, регистрируемых счетчиком в единицу времени) от напряжения, приложенного к электродам, приведена на рис. 2.4.

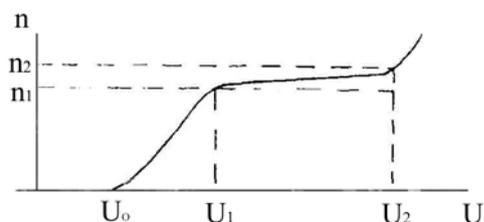


Рис. 2.4. Зависимость формирования импульсов от подаваемого напряжения

До напряжения зажигания U_0 электрические импульсы в цепи анода не возникают. Счетчик «не чувствует» ионизирующего излучения. Это связано с

тем, что электронно-ионные пары, образующиеся в объеме счетчика под воздействием ионизирующего излучения, нейтрализуются, не успевая достигнуть электродов.

С ростом напряжения процессы нейтрализации становятся менее вероятными, чем ионизация атомов. Это приводит к росту числа частиц, регистрируемых счетчиком в интервале значений напряжения от U_0 до U_1 .

При повышении напряжения от U_1 до U_2 число импульсов n , регистрируемых счетчиком в единицу времени, становится практически постоянным. При значениях напряжения от U_1 до U_2 процесс приобретает характер самостоятельного разряда. Появление в объеме счетчика ионизирующей частицы приводит к возникновению одного электрического импульса. Промежуток напряжения от U_1 до U_2 , прикладываемых к электродам счетчика, назван областью Гейгера. При напряжении более U_2 попадание в счетчик одной частицы вызывает не один, а несколько импульсов тока в цепи анода, т.е. происходит многократная регистрация одной частицы.

Счетчики, работающие даже в области Гейгера, регистрируют не все поступающие на него частицы, т.е. эффективность регистрации менее 100%. Кроме того, в счетчиках Гейгера большое время восстановления их чувствительности ($10^{-4} - 10^{-3}$ с).

В настоящее время благодаря ряду преимуществ по сравнению с другими методами регистрации широкое применение нашли сцинтилляционные счетчики. Вещества, испускающие свет под действием ионизирующего излучения, называются сцинтилляторами. Сцинтилляционный метод регистрации радиоактивных излучений основан на изменении интенсивности световых вспышек, возникающих в люминесцирующих веществах при прохождении через них ионизирующего излучения. Количество вспышек пропорционально мощности дозы облучения. В качестве сцинтилляторов используются кристаллы некоторых неорганических или органических веществ (сернистый цинк, йодистый натрий и др.). Регистрация световых вспышек осуществляется с помощью фотоэлектронного умножителя с регистрирующей электронной схемой. Фотоэлектронный умножитель преобразует слабые световые вспышки от сцинтиллятора в большие электрические импульсы.

Основными достоинствами сцинтилляционных датчиков являются их высокая эффективность регистрации радиоактивных излучений, малое время высвечивания сцинтилляторов ($10^{-7} - 10^{-9}$ с), высокое временное разрешение. Такие параметры счетчика позволяют проводить измерения с короткоживущими радионуклидами.

Сущность фотографического метода основана на степени почернения фотоэмульсии. Под действием ионизирующих излучений атомы бромистого серебра, содержащегося в фотоэмульсии, распадаются на серебро и бром. При этом образуются мельчайшие кристаллики серебра, которые и вызывают почернение фотопленки при ее проявлении. Плотность почернения пропорциональна поглощенной энергии излучения. Сравнивая плотность почернения с эталоном, определяют дозу облучения, полученную пленкой. На этом принципе

основаны индивидуальные фотодозиметры.

Сущность химического метода основана на том, что некоторые химические вещества под воздействием ионизирующих излучений меняют свою структуру. Например, хлороформ в воде при облучении разлагается с образованием соляной кислоты, которая дает цветную реакцию с добавленным к хлороформу красителем. По плотности окраски судят о дозе облучения. На этом принципе основаны химические дозиметры.

В современных дозиметрических и радиометрических приборах широкое распространение получили ионизационный и сцинтилляционный методы.

Дозиметрические приборы предназначены для измерения экспозиционной, поглощенной, эквивалентной доз облучения или мощности этих доз.

Приборы предназначены для измерения активности источников потока частиц, плотности потока частиц или фотонов называют радиометрами.

Спектрометрами называют приборы, которые, как и радиометры, позволяют измерить активность источника, поток частиц или фотонов. Однако, в отличие от радиометров, с помощью спектрометров можно также определить энергию регистрируемого излучения и даже распределение частиц и фотонов по значениям их энергии, т.е. получить и исследовать энергетический спектр излучения. Спектрометр – это фактически тот же радиометр с расширенными возможностями в части измерения энергии излучения.

Контрольные вопросы:

1. Для чего необходимы знания процессов взаимодействия ядерных излучений с веществом?
2. В чем сущность взаимодействия альфа- и бета-частиц с веществом?
3. При каких видах излучений радионуклидов имеют место ионизационные потери, и от каких факторов они зависят?
4. В чем сущность тормозного излучения?
5. Сущность фотоэффекта при взаимодействии гамма-квантов с веществом.
6. Сущность комптоновского рассеяния при взаимодействии гамма-лучей с веществом.
7. Виды взаимодействия нейтронов с веществом и их сущность.
8. Достоинства и недостатки ионизационного метода регистрации ионизирующих излучений.
9. Сущность регистрации ионизирующих излучений счетчиком Гейгера-Мюллера.

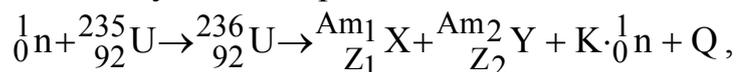
3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

3.1. Деление тяжелых ядер. Цепная реакция деления

Одним из видов ядерных реакций является деление тяжелого атомного ядра ($^{235}_{92}\text{U}$, $^{233}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$ и др.) на осколки под действием тепловых нейтронов.

Деление ядер изотопа $^{238}_{92}\text{U}$ вызывается только быстрыми нейтронами с энергией, большей 1 МэВ.

Схему реакции деления ядра урана-235 при воздействии тепловым нейтроном можно представить следующим образом:



где ${}_{Z_1}^{A_{m1}}\text{X}$ и ${}_{Z_2}^{A_{m2}}\text{Y}$ – осколки деления (дочерние ядра);

K – количество нейтронов, высвободившихся в процессе деления (равное 2 или 3);

Q – выделившаяся энергия.

Время, в течение которого происходит распад одного ядра с выделением осколков деления, нейтронов и энергии называют первым актом деления или первым поколением.

Дальнейшие исследования показали, что ядро урана в большинстве случаев делиться несимметрично. При этом наиболее вероятным является деление на осколки, массы которых относятся как 2:3. Так при делении ядер урана-235 тепловыми нейтронами распределение осколков по массе может быть представлено кривой, показанной на рис. 3.1.

На графике по оси абсцисс отложены массы осколков в атомных единицах (а.е.м.), а по оси ординат – относительный выход осколков в процентах. Из графика видно, что относительное число актов деления, при которых образуется два осколка равной массы $M \cong 117$ а.е.м. составляет 10^{-2} %, в то время как образование осколков с массами порядка 95 и 140 ($95:140=2:3$) наблюдается в 7% случаев.

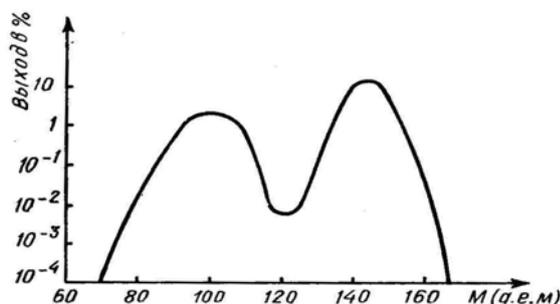


Рис 3.1. Распределение осколков при делении ядер урана под воздействием тепловых нейтронов

Удельная энергия связи для ядер средней массы, как известно, больше, чем

у тяжелых ядер. Так, энергия связи на 1 нуклон в осколках деления примерно 8,5 МэВ, в уране – 7,6 МэВ. Поэтому деление ядра урана должно сопровождаться выделением энергии, равной:

$$Q = Am(8,5 - 7,6) \cong 236 \cdot 0,9 \cong 210 \text{ МэВ.}$$

Следовательно, при делении ядра урана освобождается огромная энергия и подавляющая ее часть выделяется в виде кинетической энергии осколков деления.

При делении каждого ядра урана высвобождается несколько нейтронов. Относительное количество нейтронов в тяжелых ядрах заметно больше, чем в легких. Поэтому образовавшиеся осколки оказываются сильно перегруженными нейтронами. При этом большинство нейтронов испускается мгновенно, но часть их (около 0,8%), получившая название запаздывающих, испускается медленно. На каждый акт деления ядра урана приходится 2-3 выделившихся нейтрона. Испускаемые при делении ядер вторичные нейтроны вызывают новые акты деления, т.е. цепную реакцию деления. Минимальное условие поддержания цепной реакции состоит в том, чтобы в среднем при делении каждого ядра возникал хотя бы один нейтрон, вызывающий деление следующего ядра.

Если в среде, содержащей уран-235, разделилось одно ядро, то в среднем при этом высвободится 2 нейтрона, которые могут вызвать деление двух ядер во втором поколении и т.д. После смены n поколений в среде может быть 2^n нейтронов, которые потенциально могут вызвать деление такого же количества ядер. Например, для расщепления 2 г урана-235 требуется $2^{72} = 5 \cdot 10^{21}$ нейтронов, т.е. оно произойдет после смены 72 поколений.

Выход нейтронов в ядерной реакции деления характеризуют коэффициентом размножения нейтронов. Коэффициент размножения нейтронов K – это отношение числа нейтронов N_i i -го поколения к числу нейтронов предшествующего поколения N_{i-1} , т.е.

$$K = \frac{N_i}{N_{i-1}}.$$

Скорость нарастания реакции определяется величиной коэффициента размножения нейтронов и средним временем жизни одного поколения нейтронов. Время жизни одного поколения $10^{-7} \dots 10^{-8}$ секунды.

Система, в которой $K=1$, называется критической системой. В этом случае цепная реакция идет с постоянным числом нейтронов, что имеет место при нормальной работе атомного реактора.

Если $K < 1$, то система называется подкритической. Цепная реакция в ней нарастает или затухает при запуске или остановке реактора, что соответствует запуску или остановке атомного реактора.

При $K > 1$ система называется надкритической. В ней идет цепная реакция с нарастающим числом нейтронов. При этом из-за малого значения времени жизни одного поколения число нейтронов увеличивается очень быстро и реакция принимает взрывной характер, что характерно для ядерного взрыва.

При рассмотрении цепной реакции деления необходимо учитывать, что

ядра различных элементов с различной вероятностью захватывают нейтроны, имеющие одинаковую энергию. Например, тепловые нейтроны вызывают деление ядер урана-235, а быстрые нейтроны, кроме деления ядер урана-235 (но с меньшей вероятностью), могут вызвать деление урана-238. Резонансные нейтроны, хотя и хорошо поглощаются ядрами урана-238, но не вызывают их деления, а приводят к ряду радиоактивных превращений исходного ядра, конечным этапом которых являются ядра плутония-239.

Однако такое представление о цепной реакции является идеализированным, так как в любой реальной системе возможен выход вторичных нейтронов из лавины вследствие следующих процессов: вылета нейтронов из зоны реакции через поверхность; захвата нейтронов ядрами примесей, продуктами реакции и т.д.; захвата нейтронов ядрами урана, которые, тем не менее, не приводят к реакции деления.

Ядерная цепная реакция может протекать при выполнении ряда условий:

1. Уран-238 должен быть, по возможности, очищен от примесей с целью уменьшения захвата нейтронов и образования ядер плутония-239.

2. В случае цепной реакции на быстрых нейтронах необходимо обогащение естественного урана-238 изотопом урана-235 ($\approx 15\%$).

3. Если цепная реакция планируется на тепловых нейтронах то:

а) увеличивают процент обогащения урана-238 (более 20 %);

б) применяют замедлители, которые преобразуют быстрые нейтроны в тепловые. Это происходит за счет отбора кинетической энергии у быстрых нейтронов до энергии тепловых. В качестве замедлителей применяются вещества, имеющие малую плотность. Такими веществами являются тяжелая вода D_2O (двуокись дейтерия, имеющая плотность $\rho=1,1$ г/см³) и углерод С (в виде графита, $\rho=1,6$ г/см³).

4. Необходимое понижение вероятности радиационного захвата нейтронов, достигается тем, что вместо однородной смеси урана и замедлителя (гомогенная система) применяются чередующиеся блоки этих веществ (гетерогенная система). При ее использовании, образовавшийся в уране быстрый нейтрон успевает уйти в замедлитель до достижения им резонансной энергии. Там он становится тепловым, после чего возвращается обратно в уран, где вступает в цепную реакцию. В гомогенной системе цепная реакция в естественном уране может протекать только при использовании самого дорогого замедлителя - тяжелой воды. В гетерогенной системе она идет в том случае, когда замедлителем служит более дешевый графит.

5. Для осуществления цепной реакции наиболее выгодна система, форма которой близка к сферической. Для такой системы утечка нейтронов через поверхность будет минимальной.

6. Цепная реакция будет протекать лишь в том случае, когда ядерного топлива будет достаточно. Минимальная масса топлива, при которой еще протекает ядерная реакция, называется критической массой. Значение критической массы зависит от геометрии ядерного топлива, ее структуры и материала отражателя нейтронов. Например, для сферы из чистого урана-235 критическая мас-

са равна 9 кг. Но если тот же уран прослоен тонкими полиэтиленовыми пленками и окружен бериллиевым отражателем, то критическая масса снижается до 240 г. Отражатель служит для возвращения нейтронов в зону реакции.

Таким образом, цепную реакцию деления можно осуществить с использованием разных видов топлива и замедлителя:

1. естественного и слабообогащенного урана с тяжеловодным или графитовым замедлителем на тепловых нейтронах;
2. сильнообогащенного урана или искусственного ядерного топлива (плутония) без замедлителя на быстрых нейтронах.

3.2. Понятие о ядерном реакторе и принципе его работы

Ядерный реактор – это устройство, в котором осуществляется управляемая ядерная цепная реакция деления, сопровождающаяся выделением тепла и используемая для производства электроэнергии.

Атомные реакторы классифицируются по двум основным признакам: по взаимному расположению ядерного топлива и замедлителя (гетерогенные или гомогенные); виду нейтронов, участвующих в реакции деления (реакторы, работающие на тепловых или быстрых нейтронах).

Первая в мире атомная электростанция с реактором на тепловых нейтронах с замедлителем из графита была пущена в бывшем СССР в г. Обнинске в июне 1954 г.

Наиболее распространенными были реакторы большой мощности канальные (РБМК) и водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР). Реакторы типа РБМК работают на Игналинской, Смоленской, Чернобыльской АЭС. Водо-водяной энергетический реактор работает на Ровенской АЭС. Эти четыре АЭС размещаются вблизи государственной границы Республики Беларусь и в случае аварии на любой из них часть территории нашей страны будет загрязнена радиоактивными веществами.

Структурная схема активной зоны реактора РБМК, работающего на тепловых нейтронах, приведена на рис. 3.2.

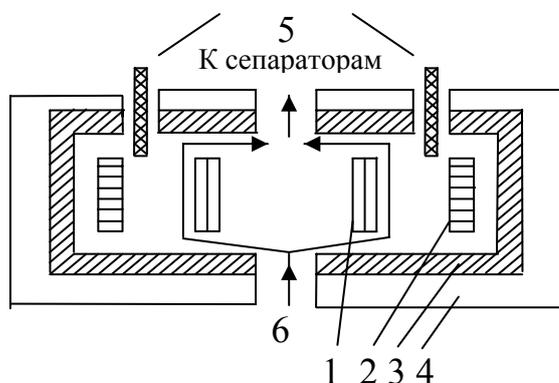


Рис. 3.2. Схема реактора РБМК: 1 – ядерное топливо (ТВЭЛы); 2 – замедлитель; 3 – отражатель нейтронов; 4 – отражатель нейтронов; 5 – регулирующие стержни; 6 – теплоноситель.

Активная зона представляет собой цилиндрическую кладку, состоящую из отдельных, собранных в вертикальные колонны графитовых блоков, выполняющих роль замедлителя. В графитовых колонах проходит 1660 вертикальных технологических каналов, предназначенных для кассет с ядерным топливом. Ядерное топливо представляет собой таблетки черного цвета диаметром около 1 см и высотой – 1,5 см. Они содержат 2% изотопа 235 и 98% урана-238. Во всех случаях при таком составе ядерного топлива ядерный взрыв произойти не может, так как для лавинообразной стремительной реакции деления, характерной для ядерного взрыва, требуется концентрация урана-235 более 60%.

Двести таблеток ядерного топлива загружаются в трубки длиной 3,5 м, диаметром 1,35 см, изготовленной из циркониевого сплава. Такая трубка называется тепловыделяющим элементом (ТВЭЛ). Тепловыделяющие элементы собираются в кассеты, называемые «борками» (рис. 3.3).

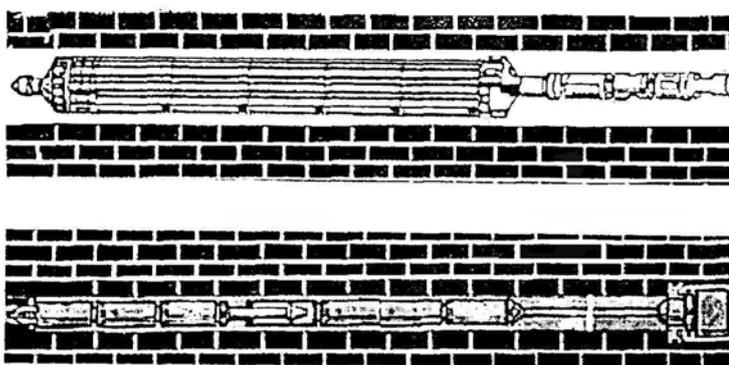


Рис. 3.3. Кассета в разрезе

Общая масса топлива, загружаемого в РБМК, составляет 190 т. В процессе работы реактора ТВЭЛы охлаждаются потоками теплоносителя, проходящими по технологическим каналам. В качестве теплоносителя используется обыкновенная вода.

Активную зону реактора окружают отражателем нейтронов, способствующим уменьшению утечки нейтронов из активной зоны путем их отражения обратно в зону.

Для управления ядерной реакцией, происходящей в ТВЭЛлах, в специальные каналы вводятся регулирующие стержни, которые могут свободно перемещаться по специальным каналам.

Вокруг активной зоны реактора располагается биологическая защита от мощных потоков нейтронов, а также от альфа-, бета- и гамма-излучений. В качестве многометрового слоя биологической защиты используется углеродистая сталь, песок, бетон, галька и вода.

Принцип работы реактора типа РБМК состоит в следующем. В результате деления ядер урана-235 вторичные быстрые нейтроны выходят из ТВЭЛов и попадают в графитовый замедлитель. Проходя по замедлителю, они теряют часть своей энергии и, уже являясь тепловыми, вновь попадают в ТВЭЛы и участвуют в дальнейшем процессе деления ядер урана-235. Энергия цепной ядерной реакции выделяется в виде кинетической энергии осколков деления,

вторичных нейтронов, альфа- и бета-частиц, гамма-квантов и некоторых других элементарных частиц. В результате этого происходит разогрев ТВЭЛов и графитовой кладки замедлителя. Теплоноситель, в качестве которого используется вода, двигаясь в технологических каналах снизу вверх под давлением 70 атм, охлаждает активную зону реактора. В результате происходит нагрев теплоносителя до 284 °С. При этом происходит частичное превращение теплоносителя в пар.

Пароводяная смесь попадает по трубопроводам в сепаратор, который служит для отделения воды от пара (рис. 3.4).

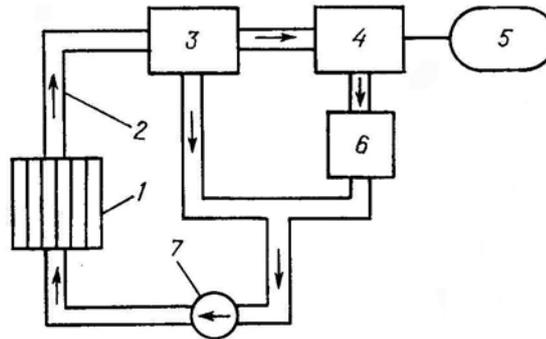


Рис. 3.4. Принципиальная схема АЭС с РБМК: 1 – активная зона реактора; 2 – поток теплоносителя; 3 – сепаратор; 4 – паровая турбина; 5 – генератор электрического тока; 6 – технологический конденсатор; 7 – циркуляционный насос.

Насыщенный пар под давлением попадает на лопасти турбины, связанной с генератором электрического тока. Оставшийся пар направляется в технологический конденсатор, конденсируется, смешивается с теплоносителем, поступающим из сепаратора, и под давлением, создаваемым циркуляционным насосом, вновь поступает в технологические каналы активной зоны реактора.

Состояние реактора с точки зрения критичности (способности к поддержанию цепной реакции деления) характеризуют реактивностью ρ . Под ней понимают относительное отклонение коэффициента размножения нейтронов от единицы и оценивают выражением

$$\rho = \frac{K - 1}{K}. \quad (3.1)$$

На реактивность реактора большое влияние оказывают температура и образование новых радиоактивных ядер. При этом наблюдается очень сложное изменение реактивности при нагреве реактора, которое называют температурным эффектом и характеризуют температурным коэффициентом реактивности (α_T), рассчитываемым по формуле

$$\alpha_T = \frac{\rho(T_2) - \rho(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (3.2)$$

где T_1 (T_2) – температура ядерного топлива до (после) нагрева.

Температурный коэффициент показывает изменение реактивности реакто-

ра при нагреве ядерного топлива на 1°K .

Работа реактора в стационарном и переходном режимах устойчива при отрицательном температурном коэффициенте α_T . В этом случае реактор является саморегулирующимся, т.е. способным при температурных возмущениях прийти в стабильное состояние без включения системы регулирования.

В реакторах с положительным α_T случайное повышение температуры вызывает рост мощности реактора и требуется ее регулировка.

Во время работы реактора состав активной зоны значительно изменяется за счет появления новых радионуклидов, разнообразных радиоактивных превращений. Эти процессы приводят к снижению реактивности реактора. Если снижение реактивности обусловлено появлением в активной зоне нуклидов, хорошо поглощающих нейтроны, то такое снижение реактивности называют отравлением реактора. Если в реакторе появляются нуклиды, сравнительно слабо поглощающие нейтроны, то образуются шлаки, а сопутствующий процесс снижения реактивности называют шлакованием.

Процессы отравления и шлакования непосредственно связаны с дополнительной потерей нейтронов в активной зоне, поэтому для компенсации происходящего снижения реактивности необходимо увеличить начальную загрузку ядерного топлива по сравнению с критическим значением.

Оперативное изменение коэффициента размножения нейтронов, удержание реактора в критическом и подкритическом режимах осуществляется системой управления и защиты (СУЗ), которая выполняет три основные функции:

- а) компенсацию избыточной реактивности;
- б) изменение мощности реактора, включая его пуск и остановку, а также поддержание мощности при случайных колебаниях параметров;
- в) аварийную защиту реактора (быстрое и надежное гашение цепной реакции деления).

В соответствии с функциями СУЗ поглощающие стержни разделяют на три группы: стержни автоматического регулирования, компенсирующие стержни и стержни аварийной защиты.

Стержни автоматического регулирования предназначены для регулировки тепловой мощности реактора. При нормальной работе реактора, т.е. при отрицательном значении температурного коэффициента α_T , стержни выделены из активной зоны и находятся в крайнем верхнем положении. Если температурный коэффициент становится положительным, тогда стержни автоматической регулировки вводятся в активную зону.

Компенсирующие стержни предназначены для компенсации избыточной реактивности в реакторе. Во время работы реактора эти стержни введены в активную зону и по мере его эксплуатации выводятся из нее. Полностью будут выведены из зоны после того, когда ядерное топливо потеряет реактивность и необходима будет его замена.

Стержни аварийной защиты при нормальной работе реактора выведены из активной зоны и находятся в крайнем верхнем положении. Вводятся в

активную зону с максимальной скоростью для остановки реактора в аварийной ситуации.

Достоинством реактора РБМК является возможность замены ТВЭЛов без остановки реактора и возможность поканального контроля его состояния. К недостаткам реактора РБМК следует отнести низкую стабильность работы на малых ядерных уровнях мощности; недостаточное быстродействие системы управления и использование одноконтурной схемы. Применение одноконтурной схемы в теплоотводе приводит к возможному радиоактивному загрязнению турбогенератора в связи с небольшим, но постоянным выносом радиоактивности из технических каналов реактора в паровой тракт турбины. Это затрудняет профилактическое обслуживание турбины и требует дополнительной радиационной защиты циркуляционного контура.

Контрольные вопросы:

1. Показатели, характеризующие время распада одного ядра.
2. Способ расчета количества нейтронов в n-ом акте распада.
3. Что понимают под коэффициентом размножения нейтронов при цепной реакции деления ядер?
4. Параметры, характеризующие скорость нарастания реакции деления ядер.
5. Состояния реактора по величине коэффициента размножения нейтронов и их характеристика.
6. Критическая масса ядерного топлива, факторы, от которых она зависит.
7. Реактивность реактора, факторы, ее определяющие.
8. Понятие отравление и шлакование реактора, их сущность.
9. Система управления и защиты в реакторах типа РБМК.
10. Назначение стержней автоматической регулировки и порядок их введения в активную зону.

4. ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ЕДИНИЦЫ

Прежде чем сформировать основные принципы радиационной безопасности, необходимо было основательно изучить: свойства излучений радионуклидов; взаимодействие их с веществом; радиационные эффекты, которые они производят в облученном объекте, в том числе и организме человека. Проведенные исследования позволили выявить существующие особенности неблагоприятного радиационного воздействия на организм. Главным из них являются: вид излучений, выделяемая энергия при распаде радионуклида; пути поступления радионуклидов в организм; биологическая радиочувствительность облучаемых тканей и органов.

Для количественной оценки воздействия ионизирующих излучений на облучаемый объект введено понятие «доза». Выделяют экспозиционную, поглощенную, эквивалентную и эффективную эквивалентную дозу облучения.

Экспозиционная доза характеризует ионизационную способность рентгеновского и гамма-излучения в воздухе. Она является характеристикой радиационного фона в ограниченном диапазоне энергии и только для воздуха.

Экспозиционная доза X – это отношение суммарного заряда dQ всех ионов одного знака, образовавшихся в элементарном объеме воздуха при облучении его ионизирующим излучением к массе dm воздуха в этом объеме:

$$X = \frac{dQ}{dm}. \quad (4.1)$$

Единица измерения экспозиционной дозы в системе СИ – кулон на килограмм (Кл/кг). Кулон на килограмм равен экспозиционной дозе, при которой в воздухе массой 1 кг произведены ионы, несущие электрический заряд 1 Кл каждого знака. Внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген (Р). Один рентген соответствует образованию $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов в 1 см^3 воздуха при температуре 0°C и нормальном атмосферном давлении 760 мм рт. ст. (1013 гПа). Соотношение внесистемной и системной единиц имеет вид:

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

Изменения, происходящие в облучаемом объекте под воздействием различного рода излучений, зависят от величины поглощенной энергии. Поэтому наиболее удобной характеристикой излучения, определяющей степень его воздействия на облучаемый объект, является поглощенная энергия излучения. Она показывает какое количество энергии ионизирующего излучения поглощено в единице массы любого вещества.

Если в результате воздействия на вещество массой dm поглощается энергия ионизирующего излучения dE , то поглощенная доза D оценивается выражением

$$D = \frac{dE}{dm}.$$

За единицу измерения поглощенной дозы в СИ принят грей (Гр). Это такая доза, при которой массе 1 кг любого вещества передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж, т.е.

$$D = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг}} = 1 \text{ Грей} = 1 \text{ Гр}.$$

Внесистемной единицей поглощенной дозы является рад – энергия в 100 эрг, поглощенная в 1 г любого вещества независимо от вида и энергии излучения. 1 Гр = 100 рад.

Эквивалентная доза вводится для оценки радиационной опасности облучения человека от разных видов излучения. Для уяснения особенностей радиационного эффекта в биологической ткани в зависимости от вида ионизирующего излучения при одной и той же поглощенной дозе D учитывается усредненный коэффициент качества излучения \bar{K} . Это дает возможность эквивалентную дозу H оценить выражением

$$H = \bar{K} \cdot D. \quad (4.2)$$

Коэффициент качества дает количественную оценку биологического действия каждого вида излучения, которая зависит от его ионизирующей способности. Значения \bar{K} приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Вид излучения	\bar{K}
Рентгеновское и γ -излучение	1
Электроны, позитроны и β -излучение	1
α - излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1...10 МэВ	10
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10

Для излучений, в которых \bar{K} равны единице, $H = D$. За единицу эквивалентной дозы в системе СИ принят зиверт (Зв). Зиверт равен такой эквивалентной дозе, при которой произведение поглощенной дозы на усредненный коэффициент качества облучения составляет 1 Дж/кг в биологической ткани стандартного состава. Из этого определения следует, что

$$1 \text{ Зв} = \frac{1}{\bar{K}} \text{ Гр}. \quad (4.3)$$

Из выражения (4.3) видно, что эквивалентная доза 1 Зв реализуется при поглощенной дозе 1 Гр только при воздействии на биологическую ткань таких излучений, для которых $\bar{K} = 1$. Для излучений с $\bar{K} > 1$ эквивалентная доза 1 Зв достигается при поглощенной дозе, меньшей 1 Гр. Так, например, при действии на биологическую ткань альфа-излучения эквивалентная доза 1 Зв реализуется при поглощенной дозе всего лишь 0,05 Гр. На практике используется внесистемная единица эквивалентной дозы – бэр (биологический эквивалент рада). 1 Зв = 100 бэр.

Эффективная эквивалентная доза (H_e) вводится для того, чтобы оценить опасность для всего организма облучения отдельных органов и тканей, которые имеют неодинаковую восприимчивость к ионизирующим излучениям. Эффективная эквивалентная доза облучения определяется соотношением:

$$H_e = \sum_{i=1}^n H_i \cdot W_i, \quad (4.4)$$

где H_i – среднее значение эквивалентной дозы облучения i -го органа человека;

W_i – взвешивающий коэффициент, равный отношению риска облучения данного органа (ткани) к суммарному риску при облучении всего организма.

Взвешивающие коэффициенты или коэффициенты радиационного риска, позволяют выровнять риск облучения вне зависимости от того, облучается весь организм равномерно или неравномерно. Значения W_i приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Органы (ткани)	W_i
Половые железы	0,25
Молочная железа	0,15
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Щитовидная железа	0,03
Поверхности костных тканей	0,03
Остальные ткани	0,3

Сумма взвешивающих коэффициентов для всего организма W_{Σ} равна:

$$W_{\Sigma} = W_1 + W_2 + \dots + W_n = 1.$$

Расчет эффективной эквивалентной дозы облучения особенно важен при лучевой терапии отдельных органов. Например, если щитовидная железа накопила дозу 1 Зв, то это эквивалентно тому, что весь организм получил дозу 0,03 Зв, так как взвешивающий коэффициент для щитовидной железы W равен 0,03, т.е.

$$H_e = \bar{K} \cdot D = 0,03 \cdot 1 = 0,03 \text{ Зв}.$$

При возможном облучении группы людей также необходимо определять меру ожидаемого эффекта облучения. Для этой цели используется понятие коллективной эквивалентной дозы (H_s) – это сумма индивидуальных эквивалентных доз H_i у данной группы людей:

$$H_s = \sum_{i=1}^n H_i \cdot N_i, \quad (4.5)$$

где N_i – число лиц среди данного контингента, получивших эквивалентную дозу H_i .

Единица измерения коллективной эквивалентной дозы в системе СИ – чел·Зв, внесистемная единица – чел·бэр.

Для того, чтобы оценить поглощенную дозу в биологической ткани следует знать, что в условиях электронного равновесия экспозиционной дозе 1Р соответствует поглощенная доза 0,873 рад в воздухе или 0,96 рад в биологической

ткани. Поэтому с погрешностью до 4% экспозиционную дозу в рентгенах и поглощенную дозу в биологической ткани в радах можно считать совпадающими. Однако запись $1 \text{ Р} \approx 1 \text{ рад}$ не совсем корректно, так как экспозиционная и поглощенная дозы – разные физические величины. Таким образом, соотношение между внесистемными единицами экспозиционной, поглощенной и эквивалентной доз имеет вид:

$$1 \text{ Р} \text{ соответствует } 1 \text{ рад} = 1 \text{ бэр} \cdot \bar{K}.$$

Важной характеристикой ионизирующих излучений является мощность дозы P , которая показывает, какую дозу облучения получает среда (вещество) за единицу времени, т.е. скорость изменения дозы, которая оценивается формулой

$$P = \frac{dD}{dt}. \quad (4.6)$$

Для поглощенной дозы единицей измерения мощности дозы облучения являются Гр/с и рад/с, для эквивалентной дозы – Зв/с и бэр/с, экспозиционной дозы – Кл/кг·с (кулон на килограмм·с). Внесистемными единицами экспозиционной мощности дозы служат Р/с, Р/мин и Р/ч.

Для органического восприятия относительно большого числа единиц измерения доз облучения целесообразно показать их взаимосвязь (табл. 4.3).

Таблица 4.3.

Наименование доз облучения	Единица измерения		Взаимосвязь
	В системе СИ	Внесистемная ед. измерения	
Экспозиционная (X)	Кулон на килограмм (Кл/кг)	Рентген (Р)	$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р}$
Поглощенная (D)	Грей (Гр) или Дж/кг	Рад	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$
Эквивалентная (H) и эффективная эквивалентная (H_e)	Зиверт (Зв)	Бэр	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$
Коллективная эквивалентная (H_S)	Человеко-зиверт (чел. Зв)	Человеко-бэр (чел. бэр)	$1 \text{ чел. Зв} = 100 \text{ чел. бэр}$

Следует отметить, что с помощью приборов можно измерить экспозиционную дозу, а также, при определенных условиях, поглощенную дозу. Все остальные дозы приборами не измеряются, а могут быть оценены только расчетным путем.

Контрольные вопросы:

1. Что характеризует экспозиционная, поглощенная, эквивалентная и эффективная эквивалентная дозы облучения?
2. Понятие об экспозиционной дозе облучения и единицы ее измерения.

3. Понятие о поглощенной дозе облучения и единицы ее измерения.
4. Понятие об эквивалентной дозе облучения и единицы ее измерения.
5. Понятие об эффективной эквивалентной дозе облучения и единицы ее измерения.
6. Понятие о мощностях доз облучения и единицы их измерения.
7. Понятие о коллективной дозе облучения и единицы ее измерения.

5. ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

5.1. Естественный радиационный фон

Естественный радиационный фон есть неотъемлемый фактор окружающей среды, оказывающий существенное воздействие на жизнедеятельность человека. Эволюционное развитие показывает, что в условиях естественного фона обеспечиваются оптимальные условия для жизнедеятельности человека, животных, растений. Поэтому при оценке опасности, обусловленной ионизирующим излучением, крайне важно знать характер и уровни облучения от различных источников.

Естественное фоновое облучение человека обуславливается внешним и внутренним облучением. Внешнее облучение создается за счет воздействия на организм ионизирующих излучений от внешних по отношению к человеку источников излучения, а внутреннее - за счет воздействия на организм ионизирующих излучений радиоактивных нуклидов, находящихся внутри организма.

Космические излучения и изотопы земной коры создают естественный радиационный фон, который характерен для каждой местности. Различают первичное и вторичное космическое излучение.

Первичное космическое излучение представляет собой поток частиц, попадающих в земную атмосферу из межзвездного пространства, солнечной системы. Оно состоит из протонов (примерно 90%) и альфа-частиц (около 10%). В меньших количествах присутствуют нейтроны, электроны, ядра легких элементов. Большая часть первичного космического излучения возникает в пределах нашей Галактики. Энергия частиц первичного излучения достигает 10^{12} – 10^{14} МэВ. Кроме того, при солнечных вспышках возникает солнечное космическое излучение, которое приводит к увеличению дозы облучения на поверхности Земли.

Вторичное космическое излучение образуется в результате взаимодействия частиц первичного космического излучения с ядрами атомов, входящих в состав воздуха. Оно содержит практически все известные в настоящее время элементарные частицы. У поверхности Земли оно состоит в основном из фотонов, электронов и позитронов с энергией до 100 МэВ.

Мощность космических лучей, достигающих земной поверхности, зависит от географической широты и высоты над уровнем моря. Изменение мощности космических лучей в зависимости от географической широты обусловлено тем, что Земля похожа на гигантский магнит. Поэтому космические лучи, будучи заряженными частицами, отклоняются от экватора и собираются вместе в виде своеобразных воронок в области полюсов Земли. Области вблизи экватора, находящиеся на уровне моря, получают наименьшую дозу космического излучения, примерно равную 0,35 мЗв/год. На широте 50° доза космического излучения составляет 0,5 мЗв/год. Это обусловлено тем, что толстый слой атмосферы, содержащий воздух и пары воды, разрушая, замедляя и останавливая движение многих быстрых заряженных частиц, двигающихся из космоса.

С ростом высоты над уровнем моря мощность эквивалентной дозы косми-

ческого излучения увеличивается. Напримар, на высоте 4500 м доза облучения из космоса составляет 3 мЗв/год, а на вершине пика Эвереста (8848 м над уровнем моря), соответствующий показатель равен 8 мЗв/год.

В земной коре имеются радиоизотопы, не успевшие распасться за время существования Земли. Они имеют период полураспада в миллиарды лет. Важнейшими из них являются калий-40, уран-238, торий-232. Тяжелые ядра этих изотопов до полного распада успевают образовать несколько промежуточных радиоактивных изотопов.

Как правило, природные радионуклиды сконцентрированы в гранитных породах гор. Радиоактивность известняковых и песчаных пород ниже. Средний уровень мощности дозы излучения на высоте 1 м над поверхностью известняка равен примерно 0,2 мЗв/год. На нашей планете существует ряд регионов, где существенно увеличен уровень радиации, исходящий из почв и гор – это Бразилия, Египет, Индия, Франция, остров Ниуэ и др. Так в ряде мест Бразилии, главным образом в прибрежных полосах земли, мощность дозы излучения из почвы и скальных пород составляет 5 мЗв/год. Примерно 1/6 часть населения Франции (7 млн. человек) живет в районах, где скальные породы представлены в основном гранитом, из-за чего радиационный фон повышен и мощность дозы составляет до 3,5 мЗв/год.

В индийских штатах Керала и Мадрас, проживает около 100 тысяч человек, которые получают дозу, в среднем равную 13 мЗв/год. Удельная радиоактивность почвы выше при условии, что в ней содержится больше глинистых частиц и чернозема. Лесные и дерново-подзолистые почвы имеют меньшую радиоактивность. В Беларуси естественное облучение составляет около 2,4 мЗв/год.

В конце семидесятых годов прошлого столетия установлено, что наиболее весомым из всех естественных источников радиации является тяжелый газ радон-222 и его изотоп радон-220 (торон). Для удобства под радоном понимают оба указанных изотопа.

Радон-222 – это продукт радиоактивного превращения урана-238, а радон-220 – тория-232. Инертный тяжелый газ радон без цвета и запаха, в 7,5 раза тяжелее воздуха, растворяется в воде, точка кипения -65°C . «Дочерние» продукты распада радона также радиоактивные изотопы: полония, свинца и висмута. Сейчас известно, что радиационная доза в легких от дочерних продуктов во много раз больше, чем от самого радона.

Атомы любого газа, в том числе и радона, стремятся при малейшей возможности покинуть ту полость, которая их заключает в себя. Попадая в атмосферу, радон переносится воздушными массами, продолжая распадаться. Радон вносит вклад во внешнее и внутреннее облучение, так как может попадать в организм с вдыхаемым воздухом, пищей и водой. Следует помнить, что концентрация радона в жилых помещениях выше, чем снаружи. Это обусловлено содержанием радона в строительных материалах, поступлением в дома вместе с почвенным воздухом. В окружающую среду он затягивается из грунта вследствие разности давлений внутри и вне здания. Если дом стоит на богатом радио-

активными элементами грунте, то ситуация особенно неблагоприятна. Так как для строительства зданий используются природные материалы, то и в домах человек не избавлен от влияния ионизирующих излучений. Меньше всего радиоактивность в деревянных домах (до 0,5 мЗв/год), в кирпичных (до 1,5 мЗв/год), в железобетонных может достигать до 1,7 мЗв/год.

Особенно сильное воздействие радон оказывает на людей, находящихся в подвальных помещениях, и на первых этажах жилых зданий. Поэтому для того, чтобы уменьшить риск радонового облучения, необходимо проводить защитные мероприятия: использовать для полов специальные покрытия, тщательно проветривать помещения и др. К примеру, активная вентиляция помещения в течение 2-3 часов снижает концентрацию радона в 3-4 раза.

Часть радона в здании накапливается также из природного газа и воды. На кухню радон поступает с природным газом. В ванной концентрация радона может в три раза превысить таковую на кухне. Это объясняется значительным содержанием радона в воде, которое колеблется от долей единиц до 100 млн. Бк/м³. Много радона может содержать вода из глубоких подземных скважин или артезианских колодцев. В подземных водах его концентрация может составлять от 5 Бк/л до 1 МБк/л, т.е. изменяться в миллион раз. В водах озер и рек концентрация радона редко превышает 0,5 Бк/л, а в водах морей и океанов – не более 0,05 Бк/л.

При кипячении воды большая часть радона улетучивается. Поступающий с некипяченой водой радон быстро выводится из организма. Сырая вода с радоном, попавшая в желудочно-кишечный тракт, не столь вредна и опасна, как радон, попадающий в легкие. Поэтому распыляя воду в ванной с помощью душа, мы переводим радон из воды в воздух, а затем в легкие.

В связи с изложенным проблема радона приобрела существенное значение. До 1990 г. ни в одной стране не устанавливались нормативы содержания радона и продуктов его распада в жилых помещениях. В настоящее время в ряде стран приняты допустимые концентрации радона внутри помещений. Соответствующие нормативы предусмотрены для существующих и проектируемых зданий, которые приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1
Нормативы концентрации радона в воздухе жилых помещений (Бк/м³)

Страна	Существующие здания	Проектируемые здания
Швеция	100	100
Финляндия	400	100
США	80	–
Канада	400	–
Германия	200	–
Великобритания	200	–
Россия	200	100
Республика Беларусь	200	100
Международная комиссия радиологической защиты	200	100

За счет радона и дочерних продуктов его распада средний житель планеты получает в среднем за год около 100 мбэр = 1 мЗв облучения.

В среднем порядка 60-70% эффективной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступает в организм с пищей, водой и воздухом. В частности, человек получает около 180 мкЗв в год за счет радиоактивного калия-40, который играет существенную роль в процессе его жизнедеятельности. Причем, калий-40 содержится почти во всех пищевых продуктах (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Содержание радиоактивного калия-40 в пищевых продуктах

Продукт	Содержание Ка-40, мкг/кг
1	2
Хлеб ржаной	2420
Макаронны	1300
Крупа гречневая	1300
Рис	700
Горох	9070
Мука пшеничная, в/с	860
Молоко парное	1430
Масло сливочное	140
Творог	3720
Сыр	890
Мясо говяжье	3380
Сало свиное	1690
Рыба	2620
Картофель	4490
Капуста	3300
Свекла	3530
Морковь	2870
Шоколад	5630
Какао	11110

Кроме калия-40 в организме взрослого человека массой 70 кг содержится в среднем: урана-238 – $7 \cdot 10^{-4}$ з; урана-235 – $5 \cdot 10^{-6}$ з; тория-232 – $7 \cdot 10^{-1}$ з; радия-226 – $2,5 \cdot 10^{-10}$ з. В незначительных количествах содержится также радиоактивные изотопы углерода-14, полония-210, свинца-210 и другие. Они непрерывно поступают в организм и частично выводятся из него, поэтому изменение содержания долгоживущих естественных радионуклидов в продуктах питания, воде и воздухе нарушает уровень установившегося равновесия радионуклидов в организме человека.

Из всевозможных способов внутреннего облучения наиболее опасно вдыхание загрязненного воздуха, потому что взрослый человек, занятый работой

средней тяжести, потребляет воздуха 20 м^3 (воды же всего 2 литра); радиоактивное вещество, поступающее таким путем в организм человека, быстро усваивается.

Примерно $2/3$ эффективной эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, обусловлены внутренним облучением. При этом одни и те же концентрации радионуклидов при внутреннем облучении более опаснее, нежели внешнего облучения. Это обусловлено тем, что при внутреннем облучении резко увеличивается время облучения тканей организма, которое определяется сроком пребывания источника радиации в организме.

Научный комитет ООН по действию атомной радиации рекомендует считать суммарную эффективную дозу от естественных источников радиации равной 2 мЗв/год , в том числе от внутреннего облучения $1,65 \text{ мЗв/год}$, от внешнего – $0,35 \text{ мЗв/год}$.

5.2. Искусственные источники радиации

Рассмотренные выше уровни фонового облучения человека относятся к извечному распределению естественных источников радиации, сложившемуся на нашей планете. В процессе использования различных технологий человек может локально изменять распределение этих источников.

Добыча и переработка ископаемых перераспределяют природные радиоактивные элементы. Сжигание каменного угля приводит к выбросу в атмосферу аэрозолей, содержащих большое количество радиоактивных элементов. Зола угля идет на производство бетона, в результате чего бетонные здания имеют повышенный радиационный фон. Для производства кирпича также используются некоторые природные материалы, которые дают вклад в радиационный фон (до 1 мЗв/год).

Другим источником антропогенного повышения радиационного фона является использование фосфорных удобрений в сельском хозяйстве, что приводит к проникновению радионуклидов из почвы в пищевые культуры. Применение удобрений в жидком виде ведет к загрязнению радиоактивными веществами пищевые продукты. Сами предприятия, производящие фосфатные удобрения, способствуют повышению концентрации урана, радия, радона, тория в приземном воздухе в 2-14 раз по сравнению с их естественными концентрациями. Дополнительное загрязнение окружающей среды этими радионуклидами обусловлено сбросами жидких отходов фосфатных производств, а также использованием их побочных продуктов в строительной промышленности.

За последние несколько десятилетий человек научился использовать энергию атомного ядра разных целях. Она используется для создания атомного оружия, производства электроэнергии, в медицине и др. Испытания ядерного оружия и аварии на радиационно опасных объектах привели к дополнительному радиоактивному загрязнению всей планеты. Заброшенные на большую высоту радиоактивные вещества независимо от того, в какой географической точке произошел взрыв, концентрируются, в основном, между тридцатым и пяти-

десятым градусом широты в северном и южном полушариях. При этом в северном полушарии концентрация в 3-4 раза больше, чем в южном. Радиоактивные вещества постепенно выпадают на земную поверхность большей частью с ливневыми дождями.

Существенную добавку в получаемую человеком дозу вносят медицинские процедуры: лучевая терапия, рентгеновские обследования, изотопная диагностика. Доза местного одноразового облучения при рентгенографии зубов составляет 30 мЗв, при рентгеноскопии желудка - 300 мЗв, при флюорографии - 3,7 мЗв. Радиоактивные изотопы широко используются в технике для неразрушающего контроля качества изделий.

Незначительные дозы прибавляются к естественному радиационному фону при просмотре телевизора, работе с дисплеем ЭВМ, при перелетах самолетом и т.д. Ежедневный в течение года трехчасовой просмотр телевизионных программ увеличивает дозу облучения на 0,005 мЗв/год. Перелет самолетом на расстояние 2400 км добавит к дозе облучения 0,01 мЗв.

Дозы облучения человека от источников, дающих наибольший вклад в индивидуальную дозу, приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Источники облучения	Индивидуальная доза, МЗв/год
Естественные источники	2,4
Медицинские процедуры	0,4
Испытания ядерного оружия	0,2
Авария на Чернобыльской АЭС	В среднем по Беларуси 2,2

Из табл. 5.3 видно, что из искусственных источников облучения основную «добавку» к естественному радиационному фону дают медицинские процедуры. Авария на Чернобыльской АЭС в среднем по Беларуси дала в первый год индивидуальную дозу, приблизительно равную естественному радиационному фону.

Контрольные вопросы:

1. Источники фонового облучения организма человека.
2. Виды космических излучений, их состав и характеристика.
3. Факторы, влияющие на мощность космических излучений, достигающих земной поверхности.
4. Изотопы земного происхождения и их характеристика.
5. Источники радона и их характеристика.
6. Вклад радона во внутреннее и внешнее облучение организма человека.
7. Характеристика искусственных источников радиации.
8. Значения индивидуальных доз облучения человека искусственными источниками радиации.

6. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

6.1. Механизмы повреждения клеток и тканей при воздействии ионизирующих излучений

В 1898 году Анри Беккерель в течение шести часов носил в карманном жилете пробирку с радием, которую подарила ему Мария Склодовская-Кюри и через некоторое время на его теле там, где хранилась пробирка с радием образовался ожог. Так впервые было обнаружено особое свойство радия воздействовать на живую ткань. Это положило начало новой отрасли науки – радиационной биологии.

Поступая в тело живого организма, энергия излучения изменяет протекающие в нем биологические и физиологические процессы, нарушает обмен веществ. Воздействия ионизирующих излучений на биологические объекты подразделяют на пять видов:

1. Физико-химические (вызывающие перераспределение энергии за счет ионизации). Продолжительность – 10^{-12} – 10^{-8} с.

2. Химические повреждения клеток и тканей (образование свободных радикалов, возбужденных молекул и т.д.). Продолжительность – от 10^{-7} с до нескольких часов.

3. Биомолекулярные повреждения (повреждение белков, нуклеиновых кислот и т.д.). Продолжительность – от микросекунд до нескольких часов.

4. Ранние биологические эффекты (гибель клеток, органов, всего организма). Длится стадия от нескольких часов до нескольких недель.

5. Отдаленные биологические эффекты (возникновение опухолей, генетические нарушения, сокращение продолжительности жизни и т.д.). Длится годами, десятилетиями и даже столетиями.

Выделяют два пути поражения клеток ионизирующим излучением: прямой и косвенный (непрямой). Прямой путь поражения клетки характеризуется поглощением энергии излучения молекулами (мишенями) клеток, и в первую очередь молекулами ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты), входящими в структуру ядерных хромосом. При прямом воздействии ионизирующих излучений происходят возбуждение молекул, их ионизация, разрыв химических связей. Разрушаются ферменты и гормоны и соответственно в организме осуществляются физико-химические сдвиги. Происходит абerrация хромосом. Последние надрываются, разрываются на осколки или структурно перестраиваются. Тесная зависимость между степенью разрушения (абerrаций) хромосом и летальным эффектом облучения свидетельствует о решающей роли поражения ядерного материала в исходе лучевого поражения клеток.

Для более полного выяснения данного пути поражения следует рассмотреть строение клетки. Она состоит из оболочки, ядра и ряда клеточных органелл (рис. 6.1). Ядро отделено от цитоплазмы мембраной. Оно содержит ядрышко и хроматин. Последний представляет собой определенный набор нитевидных

частиц – хромосом. Вещество хромосом состоит из нуклеиновых кислот, которые являются хранителями наследственной информации и специальных белков. Индивидуальная особенность каждого типа белка зависит от того, сколько аминокислот и какие именно составляют его цепь.

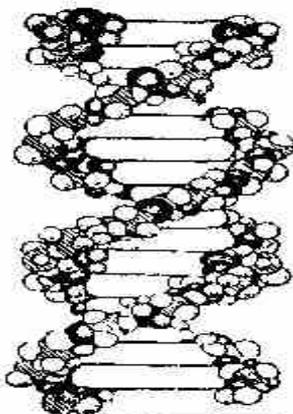
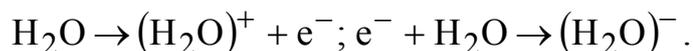


Рис. 6.1. Участок молекулы ДНК

При воздействии больших доз излучения клетка выглядит под микроскопом почти так же, как и при воздействии высокой температуры нарушается: целостность ее оболочки и составных частей цитоплазмы, ядро уплотняется, рвется, но может и разжижаться. Клетки погибают. При небольших дозах излучения наиболее опасным является повреждение ядерных ДНК, у которых закодирована структура белков. Повреждение ДНК дает толчок для повреждения генетического кода.

Косвенное воздействие ионизирующих излучений проявляется в химических реакциях, происходящих в результате разложения или диссоциации воды. Поскольку организм человека состоит на 85-90 % из воды, этот путь поражения является важным в формировании последствий радиационных поражений.

Под воздействием ионизирующих излучений в воде идут процессы ее ионизации с образованием быстрых свободных электронов и положительно заряженных ионов воды. Образовавшийся электрон постепенно теряет свою энергию за счет соударения с другими молекулами, пока его не захватит другая молекула:



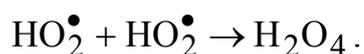
Ни $(\text{H}_2\text{O})^+$, ни $(\text{H}_2\text{O})^-$ не являются стабильными и распадаются, образуя ион и свободный радикал:



Радикалы OH^\bullet и H^\bullet вступают в химические реакции с образованием перекиси водорода H_2O_2 , гидропероксида HO_2^\bullet

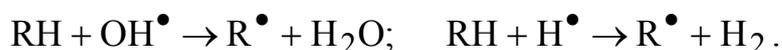


Радикалы гидропероксида, соединяясь, дают высшую перекись:



Пероксидные вещества обладают сильными окислительными и токсичными свойствами. Вступая в соединения с органическими веществами и, прежде всего, с молекулами, получившими высокую химическую активность в результате ионизации или возбуждения, они вызывают значительные химические изменения в клетках и тканях, что приводит к деполимеризации нуклеиновых кислот, нарушению проницаемости клеточных мембран, повышению проницаемости стенок кровеносных сосудов, сопровождающемуся кровотечениями и кровоизлияниями.

Свободные радикалы OH^\bullet и H^\bullet , также вступают в реакции с органическими молекулами. Если обозначить органическую молекулу RH , где R – вся молекула (за исключением одного атома водорода), то можно записать реакции таких молекул со свободными радикалами OH^\bullet и H^\bullet , приводящие к образованию новых радикалов, следующим образом:



Клетки при воздействии несмертельной для них дозы способны к репарации, т.е. восстановлению. Не все повреждения ДНК равнозначны по последствиям, радиационного воздействия. Восстановление одиночных разрывов нитей ДНК происходит достаточно эффективно. В клетках млекопитающих скорость репарации такова, что при нормальной температуре половина радиационных одиночных разрывов восстанавливается примерно в течение 15 мин, так что, вероятно, одиночные разрывы нитей ДНК не являются причиной гибели клеток в отличие от двойных разрывов нитей и повреждений оснований.

Репарация ДНК – основа нормального функционирования клетки. Установлено, что уже при дозе 1 Гр в каждой клетке человека повреждается 5000 оснований молекул ДНК, возникает 1000 одиночных и 10-100 двойных разрывов. Различают три вида репараций:

1. Безошибочные репарации, основанные на удалении поврежденного участка ДНК и замене его новым, что приводит к восстановлению нормальной функции ДНК;
2. Ошибочные репарации, приводящие к потере или изменению части генетического кода;
3. Неполные репарации, при которых непрерывность нитей ДНК не восстанавливается.

Два последних вида репараций приводят к возникновению мутаций т.е. видоизменению в клетках. Появление мутации означает, что клетка содержит генетический материал, отличный от генетического материала, содержащегося в исходных (нормальных) клетках. Мутации могут усиливать, уменьшать или качественно изменять признак, определяемый геном. Ген – единица наследственного материала, ответственная за формирование какого-либо элементарного признака, обычно представляющая собой часть молекулы ДНК.

Последствия возникновения мутаций не так велики в соматических (неполовых) клетках организма в отличие от мутаций в половых клетках. Мутация в

соматической клетке может привести к нарушению функции или даже гибели этой клетки или ее потомков. Но поскольку каждый орган состоит из многих миллионов клеток, влияние одной или нескольких мутаций на жизнедеятельность всего организма не будет значительным. Однако соматические мутации впоследствии могут явиться причиной раковых заболеваний или преждевременного старения организма.

Мутации, происходящие в половых клетках, могут оказать губительное действие на потомство: ведут к гибели потомства или вызывают появление потомства с серьезными аномалиями.

Если большие дозы облучения приводят к прекращению всех обменных процессов в клетке и даже к разрушению клетки, т.е. ее фактической гибели, то при облучении небольшими дозами часто происходит подавление способности клеток делиться, что называется репродуктивной гибелью. Клетка, утратившая способность делиться, не всегда имеет признаки повреждений, она может еще долго жить и после облучения. В настоящее время считается, что большинство острых и отдаленных последствий облучений организма – результат репродуктивной гибели клеток, которая проявляется при «попытке» таких клеток разделиться.

В соответствии с убыванием степени радиочувствительности клетки организма можно расположить в такой последовательности:

1. Высокая чувствительность к радиоактивному излучению: лимфоциты (белые кровяные тельца), кроветворные клетки костного мозга, зародышевые клетки семенников и яичников, клетки эпителия тонкого кишечника;

2. Средняя чувствительность: клетки зародышевого слоя кожи и слизистых оболочек, клетки слюнных желез, клетки волосяных фолликулов, клетки потовых желез, клетки эпителия хрусталика, хрящевые клетки, клетки сосудов;

3. Достаточно высокая устойчивость к излучениям: клетки печени, нервные клетки, мышечные клетки, клетки соединительной ткани, костные клетки.

6.2. Радиочувствительность клеток и тканей

Клетки имеют разное строение и выполняют различные функции (например, нервные, мышечные, костные и т.д.). Группы клеток образуют ткани, из которых состоят органы и системы (пищеварительная, нервная, кровеносная системы, железы внутренней секреции и т.д.). Ткань – это не просто сумма клеток, это уже система, имеющая свои функции. Она имеет свою систему саморегуляции и, установлено, что клетки ткани, которые активно делятся, более подвержены действию радиации. Поэтому мышцы, мозг, соединительные ткани у взрослых организмов достаточно устойчивы к воздействию радиации. Клетки же костного мозга, зародышевые клетки, клетки слизистой оболочки кишечника являются наиболее уязвимыми. Так как наибольшее деление клеток происходит в растущем организме, воздействие радиации на детский организм особенно опасно. Влияние облучения на плод может привести к рождению неполноценного потомства, причем самый опасный период – 8-15-я недели беременности, когда происходит закладка органов будущего человека.

У взрослого организма наиболее уязвимым является красный костный мозг, вырабатывающий клетки крови, которые сами не делятся и быстро «изнашиваются». Поэтому организм нуждается в постоянном их обновлении. Вырабатываемые красным костным мозгом лейкоциты (белые кровяные тельца) выполняют функцию защиты организма от попавших в него возбудителей инфекционных заболеваний (иммунная защита). В результате нарушения созревания клеток костного мозга резко снижается содержание лейкоцитов в крови, что приводит к снижению сопротивляемости организма к различным инфекциям. Весьма чувствительными являются клетки половых желез напомним, что если для всего организма в целом при однократном равномерном облучении коэффициент риска принять за единицу, то для половых желез (яичников, семенников) он равен 0,25, а для красного костного мозга – 0,12.

Яичники взрослых женщин содержат большое число незаменимых яйцеклеток, находящихся на разных стадиях развития. Поэтому облучение, приводящее к фактической или репродуктивной гибели яйцеклеток, может вызвать стойкое бесплодие.

Облучение мужчин дозой 2,5 Гр вызывает стерильность в течение двух-трех лет, а после облучения дозой 4-6 Гр наступает постоянная стерильность.

У женщин высокой радиационной чувствительностью обладают также молочные железы (коэффициент риска при однократном равномерном облучении равен 0,15).

В системе органов пищеварения при одноразовом равномерном облучении наиболее радиочувствительной является печень, затем идут в порядке убывания радиочувствительности поджелудочная железа, кишечник, желудок, пищевод, слюнные железы, язык, полость рта.

Относительно высокой радиочувствительностью обладают также клетки волосяных фолликулов. После облучения дозой 3-4 Гр волосы начинают редеть и выпадать в течение 1-3 недель. Затем рост волос может возобновиться. Однако при облучении дозой порядка 7 Гр происходит полная потеря волос.

Следует отметить, что значительная часть радионуклидов попадает внутрь организма с вдыхаемым воздухом, пищей и водой. При этом наибольшие дозы внутреннего облучения получают органы систем дыхания и пищеварения, а также те органы, в которых накапливаются попавшие внутрь организма радионуклиды.

Так, например, клетки щитовидной железы высокоспециализированы и медленно делятся. Коэффициент радиационного риска для щитовидной железы при одноразовом равномерном внешнем облучении невелик – 0,03. Однако при попадании внутрь организма радиоизотопов йода они накапливаются в щитовидной железе в неограниченном количестве, что резко повышает эффективную эквивалентную дозу облучения этого органа. Щитовидная железа является одним из органов эндокринной системы – важнейшей регуляторной системы организма.

При вдыхании частиц, содержащих радионуклиды, область их осаждения в дыхательных путях и легких, время удержания на участках осаждения и про-

должительность пребывания на путях удаления определяют эффективную тканевую дозу. Растворимые радионуклиды попадают в кровь и разносятся по всему организму. Большинство типов клеток, составляющих структуру легких, относительно устойчивы к непродолжительному облучению, тем не менее, легкие как орган, обладающий тонкой структурой, характеризуется значительной радиочувствительностью на тканевом уровне.

Всасывание радионуклидов в желудочно-кишечном тракте в большой степени зависит от вхождения их в состав различных соединений. Например, всасывание из желудочно-кишечного тракта органически связанного плутония в 25 раз больше, чем всасывания нитрата плутония. При этом 90% поступившего плутония накапливается в скелете, что приводит к значительному внутреннему облучению красного костного мозга.

6.3. Реакции целостного организма на воздействие ионизирующих излучений

При воздействии разных доз облучения могут наблюдаться следующие радиационные эффекты:

1. Соматические (нестохастические). Это непосредственные телесные повреждения организма, возникающие вскоре после воздействия облучения;
2. Соматико-стохастические эффекты. Это последствия, которые выявляются на больших группах людей в более отдаленные периоды после облучения;
3. Генетические эффекты. Они проявляются в виде возникновения хромосомных аберраций, доминантных генных мутаций.

Большая часть лучевых поражений возникает спустя длительный срок после острого однократного или хронического облучения. Они являются так называемыми отдаленными эффектами облучения в отличие от непосредственных эффектов, к которым относят острую лучевую болезнь и сопутствующий ей симптомокомплекс. Указанные отдаленные эффекты зависят от дозы; с возрастанием дозы растет тяжесть поражения. Помимо названных эффектов, в отдаленном периоде могут возникать еще два вида, которые называют стохастическими (т.е. вероятностными, случайностями): соматические (телесные) эффекты – злокачественные опухоли и генетические эффекты – врожденные уродства и нарушения, передающиеся по наследству. В основе обоих указанных видов стохастических эффектов лежат генерирующиеся излучением мутации и другие нарушения в клеточных структурах, ведающих наследственностью: в первом случае (соматические заболевания) – рак – в неполовых соматических клетках разных органов и тканей, во втором (в половых клетках яйчников и семенников) – генетические изменения.

Системы органов, играющие решающую роль в гибели организма при радиационном облучении, называются критическими. Сочетание признаков, характерных для течения болезни, называют синдром. При общем облучении организма в зависимости от эквивалентной поглощенной дозы может преобладать один из синдромов, связанных с критическими системами: 1) костномозговой (кровотворный), 2) желудочно-кишечный, 3) церебральный. Они развиваются вследствие необратимого поражения соответствующих критических систем ор-

организма – системы кроветворения, желудочно-кишечного тракта или центральной нервной системы.

Костномозговой (кроветворный) синдром связан с повреждением стволовых клеток красного костного мозга. Это является смертельным для организма. Зрелые клетки крови не делятся, характеризуются специализированными функциями, быстро изнашиваются, а поэтому должны постоянно заменяться новыми. Поражение костного мозга приводит к падению количества разных типов клеток в крови. Сокращение числа клеток периферической крови обуславливает симптомы, предшествующие гибели организма: уменьшение количества крови, кровотечения, инфекции.

Сокращение числа эритроцитов (красных кровяных телец), а соответственно, и понижение гемоглобина в крови приводит к анемии (малокровию). Уменьшение числа тромбоцитов, участвующих в процессе свертывания крови, приводит к возникновению кровотечений, что усиливает анемию. Уменьшение числа лейкоцитов (белых кровяных телец) приводит к снижению сопротивляемости организма различным болезням.

Желудочно-кишечный синдром связан с повреждением слоя клеток, выстилающих внутреннюю стенку тонкой кишки, которое приводит к проникновению в организм инфекции из кишечника за счет кишечной флоры и возникновению инфекционных заболеваний.

Внутренняя, всасывающая поверхность кишечника имеет ворсинки, направленные в просвет кишечника. У основания этих ворсинок находятся быстро делящиеся клетки. Нарушение процесса обновления этих клеток и приводит к желудочно-кишечному синдрому, признаками которого являются боли в желудочно-кишечном тракте, потеря аппетита, тошнота, рвота, понос, изъязвление слизистой оболочки рта и зева, вялость, инертность. Все это происходит на фоне костномозгового синдрома.

Церебральный синдром связан с нарушениями центральной нервной системы. В центральной нервной системе в отличие от костного мозга и кишечника клетки достаточно устойчивы к воздействию радиации, так как зрелая нервная ткань состоит из высокоспециализированных клеток, которые в течение жизни не замещаются. Воздействие радиационных излучений приводит к функциональным нарушениям на тканевом уровне.

Признаки церебрального синдрома – головные боли, полное безразличие ко всему окружающему, нарушение сознания (возможна временная потеря его), судороги. Эти симптомы связаны с повреждением головного мозга.

Облучение всего организма человека дозой от 1 до 10 Зв приводит к протеканию у него типичной формы острой лучевой болезни. Различают четыре степени тяжести болезни: легкая (I) степень – при облучении дозой 1-2 Зв; средняя (II) степень – доза облучения 2-4 Зв; тяжелая (III) степень – доза 4-6 Зв; крайне тяжелая (IV) степень – доза 6-10 Зв и более. Доза, вызывающая гибель 50% облученных людей в течение 30 дней после облучения, если не приняты соответствующие медицинские меры, составляет 3-5 Зв.

В типичной форме лучевой болезни различают четыре периода:

1. Период первичной реакции – длится от несколько часов до несколько суток, в зависимости от тяжести поражения.

2. Период мнимого благополучия (скрытый период). Он длится 2-5 недель. Причем чем больше была поглощенная доза, тем короче скрытый период и при достаточно больших дозах он вообще может отсутствовать. В это время нарушения в организме нарастают: опустошается костный мозг, развиваются изменения в кишечнике, коже, выпадают волосы, но общее состояние остается удовлетворительным.

3. Период разгара болезни – расстройство функций кишечника, нарушение проницаемости сосудов, сопровождающееся кровотечениями и кровоизлияниями в кожные покровы и слизистые оболочки; глубокое поражение кроветворной и иммунной систем; развитие инфекционных осложнений, которые могут привести к гибели организма.

4. Период восстановления – при благоприятном исходе начинается на втором – пятом месяце после облучения с нормализации кроветворения, постепенного уменьшения и прекращения кровоточивости, роста волос, улучшения общего состояния и восстановления двигательной активности и аппетита.

При лучевой болезни I (легкой) степени первичная реакция, если она развивается, стихает в день воздействия. Скрытый период длится 30-40 суток. В период разгара (на пятой-седьмой неделе) изменения периферической крови ограничиваются снижением числа лейкоцитов, человек ощущает общее недомогание. Выздоровление, как правило, наступает без лечения.

При II (средней) степени лучевой болезни первичная реакция длится до 24 ч. наблюдаются двух-, трехкратная рвота, общее недомогание, иногда незначительное повышение температуры. Скрытый период продолжается 16-28 суток. В период разгара значительно снижается содержание лейкоцитов в крови, выражены общие клинические проявления: инфекционные осложнения, кровоточивость, общее недомогание. Больные нуждаются в специализированной медицинской помощи.

При III (тяжелой) степени лучевой болезни первичная реакция длится до двух суток и сопровождается многократными рвотами, недомоганием, значительным повышением температуры, возможно покраснение кожи и слизистых оболочек. Скрытый период продолжается 8-17 сут. Однако уже к концу первой недели возможно возникновение отечности, покраснения и изъязвления слизистой оболочки рта и зева, значительное изменение состава крови, лихорадка, тяжелые инфекционные осложнения. Смертельные исходы возможны начиная с третьей недели. Больные нуждаются в своевременном специализированном лечении.

IV (крайне тяжелая) степень лучевой болезни в зависимости от дозы облучения проявляется в различных клинических формах.

В диапазоне доз 6-10 Зв развивается лучевая болезнь с ярко выраженным костномозговым (кроветворным) синдромом, но в клинической картине существенное место занимает также поражение желудочно-кишечного тракта. Первичная реакция продолжается в течение трех-четырех суток. Возможны общее

покраснение кожи, жидкий стул. На 8-12-е сутки могут выявляться кишечные нарушения. В дальнейшем – типичная клиника лучевой болезни тяжелой степени. Смертельные исходы наступают с конца второй недели. Выздоровление небольшой части пораженных возможно лишь при лечении в условиях специализированного стационара. Кратко указанные симптомы приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Характеристика острой лучевой болезни по степени тяжести и последствиям для организма человека

Степень тяжести, (доза облучения, рад)	Время проявления первичной реакции	Характер первичной реакции	Косвенные признаки первичной реакции	Латентный (скрытый) период	Смертность (без лечения)
легкая (100-200)	через 2,0-2,5 часа после облучения	тошнота, однократная рвота	несильная головная боль, легкая слабость	4-5 недель	нет
средней тяжести (200-400)	через 1,0-2,0 часа после облучения	тошнота, рвота 2 и более раз	слабость, постоянная головная боль, температура тела повышена до 37,5 ⁰ С	3-4 недель	40%
тяжелая (400-600)	через 0,5-1,0 часа после облучения	многократная рвота длится до 2 суток	выраженное недомогание, сильная головная боль, температура тела повышена до 38-38,5 ⁰ С	10-20 суток	до 95%
крайне тяжелая (свыше 600)	через 2-30 минут после облучения	неукротимая рвота, длится 3-4 суток	сознание помутнено, сильная головная боль, температура тела повышена до 39-40 ⁰ С. Покраснение кожных покровов	3-4 суток, или вовсе отсутствует	100%

6.4. Действие на организм малых доз излучения

Длительное воздействие малых доз радиации может привести к возникновению хронической лучевой болезни, проявляющейся через полтора – три года после начала облучения, протекающей вяло, без ярко выраженных проявлений периода разгара болезни. Высокая уязвимость красного костного мозга, вырабатывающего лейкоциты, приводит к ослаблению иммунной системы организма, а, следовательно, к повышенной восприимчивости к любым инфекциям,

быстрой утомляемости, малокровию.

Следует также учесть радиобиологические эффекты на тканевом уровне, которые подразделяются на стохастические и нестохастические.

Стохастическими называются такие эффекты, вероятность которых при малых дозах пропорциональна дозе. Подобные эффекты признаются беспороговыми, при которых даже самая малая доза облучения не является безвредной. Стохастические эффекты возникают в результате повреждения нескольких или даже одной клетки (например, яйцеклетки).

Из отдаленных стохастических эффектов на первом месте стоят раковые заболевания, а среди них – лейкозы (рак крови), пик которых в зависимости от возраста облученных приходится на 5 – 25-й год после облучения. У детей до 15 лет наибольшая вероятность заболевания лейкозом приходится на пятый год после облучения; у людей, подвергшихся облучению в возрасте 15 – 29 лет, – через десять лет облучения, у людей в возрасте 30-34 лет – через пятнадцать лет и у людей старше 45 лет – через 25 лет после облучения.

Эффекты, которые имеют пороговую дозу, и тяжесть которых зависит от дозы, называются нестохастическими. Они возникают в результате изменений в большом количестве клеток и характерны для отдельных тканей. К ним относятся: катаракта, незлокачественные повреждения кожи, снижение костномозгового кроветворения, бесплодие. Для нестохастических эффектов существует четкий порог дозы, ниже которого вредных эффектов не наблюдается. Это связано с тем, что при малых дозах радиации поврежденные и погибшие клетки распределены в тканях случайным образом и небольшое количество функционально неполноценных клеток в большинстве тканей не играет существенной роли, хотя в будущем эти клетки могут послужить основой для новообразований.

К другим отдаленным последствиям облучения относятся, как уже упоминалось, уменьшение продолжительности жизни, катаракта, бесплодие, а также уплотнение и омертвление облученных участков кожи, потеря ее эластичности, нарушение функций половых желез и волосяных фолликулов, замедленное заживление кожи после травм даже спустя длительное время после облучения.

Таким образом, оценивая возможные последствия хронического облучения, следует иметь в виду, что последствия могут суммироваться и накапливаться в организме в течение длительного времени, так как риск стохастических поражений связан с возможностью мутаций, способных возникнуть под влиянием дополнительных взаимодействий клеток с излучением (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Основные клинические эффекты воздействия
ионизирующих излучений на человека

Условия (время) облучения	Доза (накопленная) или мощность дозы	Эффекты
1	2	3
Однократное острое,	Любая доза, отлич-	Увеличение риска отдаленных

1	2	3
продолжительное, дробное, хроническое – все виды	начиная от 0	стохастических последствий – рака и генетических нарушений; верхний предел этого риска на коллективную дозу (млн чел-бэр): летальных исходов от рака – 120 случаев, генетических нарушений – 45 на 100 000 чел.
Хроническое в течение ряда лет	0,1 Зв (10 бэр) в год и более	Снижение неспецифической резистентности организма, которое не выявляется у отдельных лиц, но может регистрироваться при эпидемиологических обследованиях
Хроническое в течение ряда лет	0,5 Зв (50 бэр) в год и более	Специфические проявления лучевого воздействия, снижение иммунореактивности, катаракта (при дозах 30 бэр (0,3 Зв) в год)
Острое однократное	1,0 Зв (100 бэр) и более 4,5 Зв (450 бэр) и более	Острая лучевая болезнь разной степени тяжести Острая лучевая болезнь со смертельным исходом у 50 % облученных
Продолжительное, 1-2 мес на щитовидную железу от ^{131}I	10,0 Зв (1000 бэр) и более	Гипофункция щитовидной железы; возрастание риска развития опухолей (аденом и рака) с вероятностью около $1 \cdot 10^{-2}$

Ко всему изложенному выше следует добавить, что большое значение имеет время, в течение которого определенная ткань организма подвергалась воздействию облучения. Если длительность облучения такова, что новые клетки успевают заменить пораженные, то эффект радиационного воздействия понижается. Это наблюдается, если облучение малыми дозами является хроническим, т.е. если человек живет при постоянном повышенном радиационном фоне. При этом быстро обновляющиеся клетки не будут значительно повреждены за счет этого фона, а для медленно делящихся или совсем неделящихся клеток доза, которую они набирают в течение длительного времени, будет соответствовать той же дозе при сильном одноразовом облучении.

Контрольные вопросы

1. Прямое воздействие излучений на клетки, характер их повреждения.
2. Непрямое (косвенное) воздействие излучений на ткани и органы, образование токсических радикалов.
3. Факторы, определяющие радиочувствительность тканей и клеток.
4. Последствия (эффекты), развивающиеся в организме после воздействия ионизирующих излучений.

5. Характеристика острой лучевой болезни.
6. Действие на организм малых доз излучения, их последствия.

7. АВАРИЯ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

7.1. Краткая характеристика типовых ядерных энергетических установок

Ядерные энергетические установки (ЯЭУ) различаются типом реактора, видом теплоносителя, целевым назначением, тепловой схемой и другими показателями.

В зависимости от структуры расположения ядерного топлива и замедлителя реакторы могут быть гомогенными и гетерогенными. Широкое распространение получили две разновидности гетерогенных реакторов на тепловых нейтронах: с твердым замедлителем (графит) и с жидким замедлителем (тяжелая вода).

По конструктивному исполнению реакторы подразделяются на корпусные и каналные. В корпусных реакторах активная зона находится в корпусе, который рассчитан на полное давление теплоносителя. Корпусные реакторы компактны, но их единичная мощность ограничена. В каналных реакторах отсутствует прочный корпус. Активная зона состоит из одинаковых технологических каналов с индивидуальным охлаждением, в которых размещаются тепловыделяющие сборки (ТВС). Увеличивая число каналов, можно получить более высокую единичную мощность.

Тепловая схема ЯЭУ может быть одно-, двух- и трехконтурной. Одно- и двухконтурные схемы применяются с реакторами на тепловых нейтронах с водным теплоносителем, трехконтурные - с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.

В СНГ наибольшее распространение получили водоохлаждаемые установки типа ВВЭР и РБМК.

Водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) - это гетерогенный реактор на тепловых нейтронах, в котором вода используется одновременно в качестве теплоносителя и замедлителя нейтронов. В СНГ на промышленных АЭС с электрической мощностью блока 440 и 1000 МВт используются два типа таких реакторов: ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Строятся в настоящее время только энергетические блоки ВВЭР-1000.

Реакторы типа ВВЭР представляют собой вертикальный толстостенный цилиндрический сосуд с самоуплотняющейся сферической крышкой, рассчитанной на давление до 18 МПа. Активная зона реактора находится внутри корпуса. Ядерным топливом служит диоксид урана, обогащенный до 3...4%, спеченный в таблетки диаметром чуть больше сантиметра и высотой 1,5 см. Таблетки помещаются в тонкостенные ТВЭЛы из циркония, представляющие собой пустотелые цилиндры. Для обеспечения необходимой жесткости, удобства монтажа ТВЭЛы соединяют в кассеты. Длительность нахождения топлива в активной зоне 3 года. Но для более равномерной работы реактора его каждый год останавливают и заменяют 1/3 кассет.

Реактор располагается в бетонной шахте, вокруг которой расположены парогенераторы и циркуляционные насосы, прокачивающие воду через активную зону. Все это оборудование окружено защитой из воды и железобетона для

снижения уровня нейтронного и γ -излучения. Тепловая схема ВВЭР является двухконтурной (рис. 7.1).

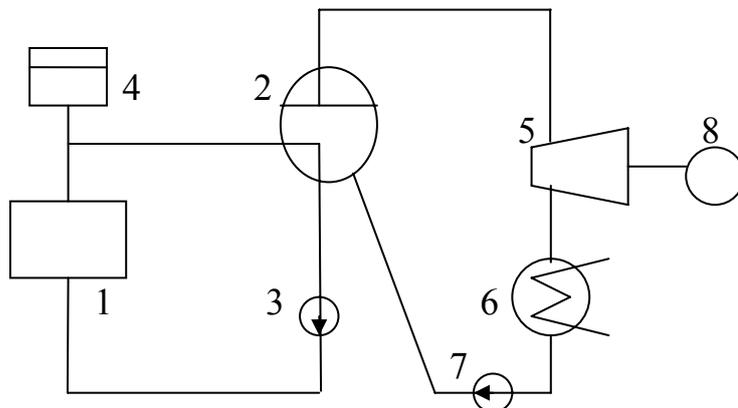


Рис. 7.1. Тепловая схема ВВЭР.

Это означает, что теплоноситель и рабочее тело движутся по самостоятельным контурам, общим оборудованием для которых является парогенератор (2).

Контур теплоносителя называется первым, контур рабочего тела – вторым. Нагретая в реакторе (1) вода поступает в парогенератор (2), отдает своё тепло рабочему телу и главным циркуляционным насосом (3) возвращается в реактор. В системе первого контура находится компенсатор давления (4). Полученный в парогенераторе пар подается на турбину (5), вращает её, затем конденсируется в конденсаторе (6). Конденсат питательным насосом (7) подается в парогенератор. Электроэнергия вырабатывается электрогенератором (8). В двухконтурной схеме радиационное загрязнение второго контура невелико, поэтому реакторные установки ВВЭР используются в атомной ТЭЦ (АТЭЦ).

ЯЭУ ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 установлены на Нововоронежской, Кольской, Ровенской, Южно-Украинской и других АЭС. Масса топлива в активной зоне реактора 80 т.-

Наряду с реакторами типа ВВЭР в СНГ нашли применение уранографитовые каналные реакторы типа РБМК (реактор большой мощности, каналный) устройство и принцип работы которого был рассмотрен в 3 разделе.

В результате дальнейшего развития ядерной энергетики возрастет потребность в ядерном топливе, запасы которого ограничены. В настоящее время перспективы развития ядерной энергетики связывают со строительством реактивов на быстрых нейтронах. Такие реакторы, кроме выработки электроэнергии, позволяют осуществлять расширенное воспроизводство ядерного топлива.

В реакторах на быстрых нейтронах отсутствует замедлитель, в результате чего объем активной зоны в несколько раз меньше, чем в ВВЭР или РБМК, и составляет примерно 2 м^3 . В качестве ядерного топлива в таких реакторах используется искусственно полученный плутоний-239 или высокообогащенный уран (более 20%). Требования высокой концентрации плутония-239 или урана-

235 в активной зоне вытекает из того, что вероятность деления их ядер под воздействием быстрых нейтронов в несколько сотен раз меньше, чем под действием тепловых нейтронов. Последнее объясняется скоростью нейтронов (чем больше скорость нейтрона, тем меньше он находится в области действия ядерных сил и вероятность его поглощения ядром уменьшается). В активной зоне реактора размещаются 370 топливных сборок, в каждой из которых содержится по 127 ТВЭЛов. В этой же зоне расположены 27 стержней системы управления и защиты.

Активная зона реактора со всех сторон окружена так называемой зоной воспроизводства, состоящей из ТВЭЛов. ТВЭЛы заполнены ураном-238, обедненного изотопом урана-235, или торием-232. Зона воспроизводства одновременно играет и роль отражателя нейтронов. Выделившиеся в активной зоне в результате деления ядер урана-235 (или плутония-239) быстрые вторичные нейтроны попадают в зону воспроизводства, где происходит радиоактивный захват ядрами урана-238 (или тория-232). В зоне воспроизводства реактора накапливаются изотопы плутония-239 или урана-233, которые могут использоваться в дальнейшем в качестве ядерного топлива.

Для отвода тепловой энергии образующейся в активной зоне и в зоне воспроизводства, в реакторах на быстрых нейтронах используется трехконтурная технологическая схема (рис. 7.2).

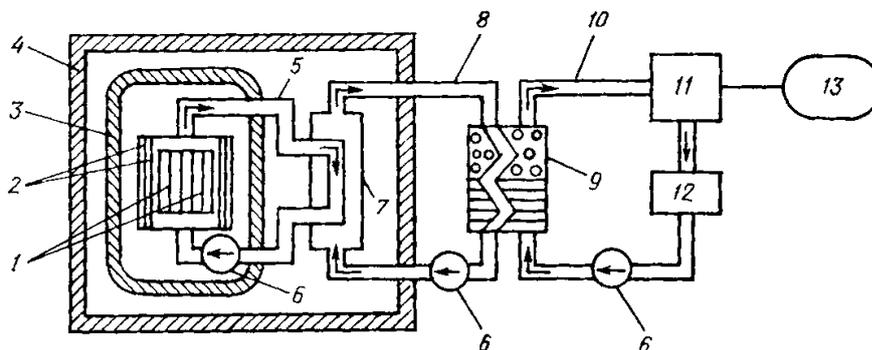


Рис. 7.2. Технологическая схема АЭС с реактором на быстрых нейтронах: 1 – ТВЭЛы активной зоны; 2 – ТВЭЛы зоны воспроизводства; 3 – корпус реактора; 4 – бетонный корпус реакторного зала; 5 – теплоноситель первого контура; 6 – циркуляционный насос; 7 – промежуточный теплообменник; 8 – теплоноситель второго контура; 9 – парогенератор; 10 – теплоноситель третьего контура; 11 – паровая турбина; 12 – технологический конденсатор; 13 – генератор.

В качестве теплоносителей первого и второго контуров используется жидкий натрий, третьего – вода. Жидкий натрий обладает малой вероятностью поглощения нейтронов и малой замедляющей способностью. Проходя по активной зоне и зоне воспроизводства, жидкий натрий первого контура нагревается до 550°C и поступает в промежуточный теплообменник. Там он отдает теплоту теплоносителю второго контура. Теплоноситель второго контура поступает в парогенератор, где происходит превращение в пар воды,

являющейся теплоносителем третьего контура. Вырабатываемый в парогенераторе пар поступает в турбину электрогенератора. Таким образом, схему теплоотвода реактора составляют один радиоактивный и два нерадиоактивных контура.

Материал ТВЭЛов, выгруженных из активной зоны и зоны воспроизводства, подвергается регенерации с целью извлечения из облученного нейтронами топлива уран-233 и плутоний-239. Время работы реактора составляет 150 суток, что значительно меньше, чем для ВВЭР и РБМК. Регенерация отработавших ТВЭЛов производится на радиохимических заводах.

Дальнейшее развитие ядерной энергетики в 21 в. специалисты всего мира связывают со строительством реакторов на быстрых нейтронах.

7.2. Причины аварии на ЧАЭС, начальные ее последствия и состояние остановленного реактора

В ночь с 25 на 26 апреля 1986 г. на Чернобыльской АЭС произошла крупнейшая в современной истории человечества катастрофа, последствия которой еще долго будут сказываться на жизни населения нашей республики.

Непосредственными причинами аварии явились грубейшие ошибки персонала, обслуживающего реактор, а также конструктивные недостатки ЯЭУ РБМК-1000.

25 апреля 1986 г. планировалась остановка четвертого блока ЧАЭС для планового ремонта. В процессе остановки намечено было провести эксперимент. Он заключался в том, что один из двух турбогенераторов ЯЭУ после прекращения подачи пара на турбину должен был, продолжая вращаться по инерции, производить энергию для запитывания циркуляционных насосов, прокачивающих воду, необходимую для аварийного охлаждения реактора. Идея эксперимента заключалась в том, чтобы проверить возможность поддержания жизнеспособности ЯЭУ за счет запаса энергии вращения ротора турбины в случае, если прекращается подача пара на турбины и отключаются внешние источники электропитания системы аварийного охлаждения реактора (САОР).

Анализ программы специалистами показал грубейшие ошибки ее авторов. Во-первых, отключение САОР было необязательно. Во-вторых, электрическая цепь насосов САОР могла быть сымитирована чем угодно, только не главными циркуляционными насосами, прокачивающими воду через активную зону реактора. Изменение режима их работы не может не оказывать воздействия на работу реактора в целом. Недостатки программы опыта усугубились отступлениями от программы и ошибками персонала при ее реализации. Эти недостатки и ошибки, подкрепленные пренебрежением нормами ядерной безопасности, стали главными причинами трагедии.

26 апреля в 1 ч 23 мин 44 сек мощность цепной реакции в 100 раз превысила номинальную. За доли секунды ТВЭЛы разрушаются, давление пара в каналах многократно возрастает. Происходит первый взрыв. В результате химических реакций продуктов взрыва и образования смесей водорода и окиси углерода с кислородом в 1 ч 23 мин 46 сек раздался новый взрыв. Разрушилось перекрытие реакторного зала, около четверти графита и часть топлива были вы-

брошены наружу. Цепная реакция в зоне прекратилась. Но мощная струя газообразных и аэрозольных радиоактивных продуктов наблюдалась в течение 2-3 суток после аварии. Благодаря принятым экстренным мерам выброс радиоактивных продуктов 6 мая резко снизился. Но практически выбросы завершились к концу этого месяца.

Суммарная активность аварийных выбросов оценивается в $5 \cdot 10^7$ Ки, что составляет примерно 4% общей активности продуктов ядерного деления в реакторе. В результате сложилась радиационная обстановка, своеобразие которой обусловлено: продолжительностью, дисперсным составом и высотой радиоактивного выброса, а также сложной метеорологической обстановкой.

Непосредственно взрывом 26 апреля 1986 г. выброшена лишь четверть всех радиоактивных веществ. Остальные выделялись почти 10 суток, пока реактор не был заглушен. Метеообстановка характеризовалась слабым и неустойчивым по направлению ветром в приземных слоях атмосферы, а на высотах 700...1500 м – юго-восточным ветром с переносом воздушных масс в северо-западном направлении со скоростью 5...10 м/с. В соответствии с метеообстановкой наиболее мощная струя газообразных и аэрозольных радиоактивных продуктов в течение первых 2...3 суток распространялась на различные районы Белоруссии. В последующие два дня радиоактивное облако устремилось на страны Центральной Европы и затем на Балканы, а 1 мая - на восток, в соответствии со сменой направления ветра.

Что касается состава радионуклидов в аварийном выбросе, то он примерно соответствует составу радионуклидов, накопленному в активной зоне реактора за все время его работы, и отличается от него повышенным содержанием летучих продуктов деления (йода, цезия, инертных газов). Так, считается, что были выброшены практически все радиоактивные инертные газы (ксенон, криптон), 20% йода-131, 10% цезия-134, 13% цезия-137, 4% стронция-89 и стронция-90. Всего же в воздух было выброшено около 450 различных типов радионуклидов, к числу важнейших из которых отнесен 21 радионуклид.

В начальный период после аварии основной вклад в суммарную активность вносили короткоживущие изотопы йод-131, стронций-89, теллур-132, инертные газы. В настоящее время наибольшую опасность представляют долгоживущие изотопы цезий-137 и стронций-90, плутониевые радионуклиды, входящие в состав «горячих» частиц. «Горячие» частицы - это сравнительно крупные (десятки и более микрон), крайне радиоактивные частицы ядерного топлива, выброшенного взрывом.

В Республике Беларусь изотопами стронция и цезия загрязнено около 40 тыс. км², т.е. пятая часть территории республики. Радиоактивность загрязненных районов оказалась очень неравномерной. Цезием-137 с уровнем активности от 5 до 15 Ки/км² загрязнено около 10 тыс. км², свыше 15 Ки/км² - 7 тыс. км². На остальной загрязненной площади уровень активности от 1 до 5 Ки/км². Да и в пределах каждого «пятна» радиоактивность часто меняется в 10...20 раз.

Распределение радионуклидов по территории республики Беларусь следующее. «Горячие» частицы выпали в основном в южной части Гомельской

области недалеко от ЧАЭС. Большая часть стронция также сосредоточена в 30-километровой зоне. Более летучий цезий был отнесен на большие расстояния, а газообразные радиоуглерод и тритий распространились повсеместно.

Внутри разрушенного блока после взрыва осталось около 96% топлива от первоначальной загрузки, не считая продуктов деления и конструкционных, обладающих наведенной активностью. Поэтому к числу важнейших мер по ликвидации последствий аварии относилось сооружение объекта «Укрытие», или «Саркофага». Его основное назначение состоит в предотвращении выхода в окружающую среду радиоактивных веществ из поврежденного реактора и защите прилегающих территорий от проникающего излучения.

Основная часть саркофага, заключающая в себя аварийный блок, была построена к ноябрю 1986 г. А весь объект, представляющий собой железобетонное сооружение высотой в 20-этажный дом, был завершён в 1988 г.

При эксплуатации саркофага исключается : возникновение самоподдерживающейся цепной реакции; нарушение условий теплосъема, приводящих к плавлению остатков топливной массы; образование взрывоопасной массы водорода.

Для реализации этих задач «Саркофаг» построен в виде целостной контрольно- измерительной системы, способной не только следить за процессами в разрушенном реакторе, но и прогнозировать их развитие.

Анализ получаемой информации позволяет расценивать нынешнее состояние объекта как безопасное.

7.3. Радиоэкологическая обстановка в Республике Беларусь

Еще задолго до аварии на Чернобыльской АЭС геологами и геофизиками был изучен естественный радиационный фон на территории Белоруссии. Установлено, что по уровню мощности экспозиционной дозы излучения фон колебался от 2 до 12 мкР/ч. Самая малая величина радиационного фона отмечалась в районе г. Мозыря - 2 мкР/ч, более высокая мощность экспозиционной дозы – 10-12 мкР/ч - регистрировалась в северных районах республики, где имеются глинистые осадочные породы, обогащенные ураном. Такой радиационный фон соответствует содержанию радиоактивных изотопов – гамма-излучателей в почвах на уровне 0,05-0,5 Ки/км²

В формировании радиоэкологической обстановки в результате аварии на ЧАЭС можно выделить три этапа.

Первый этап характеризовался выбросом из реактора смеси летучих продуктов деления ядерного топлива. К ним относятся радиоактивные изотопы: криптон-85, ксенон-133, тритий, углерод-14, цезий-137, йод-131 и др. Облако, состоящее из данных летучих радионуклидов, представляло собой мощный поток гамма-излучения. Основной защитой населения от гамма-излучений – применение экранов, которыми могли быть стены жилых домов или подвалы в них. В первые часы после аварии население не получило указания на укрытие и фактор снижения радиационной опасности остался неиспользованным. Незащищенное население в этот период получало большие дозы от внешнего, и внутреннего облучения.

На втором этапе основным фактором радиационной опасности выступал радиоактивный йод (йод-131). Благодаря своей летучести он распространялся на значительные территории. Поступление йода в организм происходило по двум цепочкам: «трава – молоко – человек» и «воздушная среда – человек».

Попавший в организм человека с вдыхаемым воздухом и пищей йод-131, являясь биохимически активным элементом, легко присоединяясь к белковым молекулам, потоком крови распределялся вначале по всем органам и тканям, а через несколько часов большая часть его (около 60%) «оседала» в щитовидной железе. Концентрация в железе в сотни раз превышала его концентрацию в других тканях. Этот этап называют периодом йодной опасности. В этот период облучение щитовидной железы в разной дозе получили более 1,5 млн. человек, в том числе 160 тыс. детей. При этом 48% детей получили дозу облучения до 0,3 Зв, у 35% эта доза колебалась в пределах 0,3-1,0 Зв, а у 17% детей она была выше 1,0 Зв, т.е. свыше 100 бэр.

В этот же период времени реальную опасность представлял и теллур-132, так как при его распаде образуется радиоактивный йод-132, который также внес дополнительный вклад в облучение щитовидной железы.

Уменьшить опасность переоблучения щитовидной железы можно методом йодной профилактики. Сущностью йодной профилактики является введение в организм стабильного изотопа йода-127 с целью уменьшения поступления в щитовидную железу радиоактивных изотопов йода. Йодная профилактика щитовидной железы у населения Белоруссии проводилась с опозданием, ограниченно, что не позволило избежать отрицательных последствий облучения.

В связи с тем, что йод-131 обладает малым периодом полураспада ($T_{1/2} = 8,04$ сут), уже через два месяца количество его уменьшилось в 250 раз.

Третий, заключительный этап характеризуется формированием опасности для людей долгоживущими радионуклидами: цезием -137 и -134, стронцием-90, изотопами плутония-239, -240, -241, в меньшей степени церием -144 и рутением-106.

В настоящее время гамма-активность почв и растений обусловлена, в основном, цезием-137, бета-активность - стронцием-90, альфа-активность - изотопами плутония. «Цезиевый период» будет продолжаться много десятков лет по причине длительного периода полураспада ($T_{1/2}=30$ лет).

Радиоактивное загрязнение распространилось по всем областям Республики Беларусь (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Загрязненность территории Республики Беларусь по областям

Области	Количество административных районов	Загрязненные районы	Площадь загрязнения, тыс. га	Показатель загрязнения, %
1	2	3	4	5
Гомельская	21	20	92 800	73
Могилевская	21	10	432,2	30,5
Брестская	16	7	72,8	5,3

1	2	3	4	5
Гродненская	16	6	54,6	4,3
Минская	22	11	71,5	4
Витебская	24	1	0,3	0,01

Наиболее загрязненной территорией Республики Беларусь является юг Гомельской области, где наблюдались особенно большие дозы гамма-облучения людей в первые дни после аварии. Сюда относятся территории Хойникского, Брагинского и Наровлянского районов. Плотность загрязнения почвы в данных районах достигала 43-63 Ки/км².

В северных районах Гомельской области (Добрушский, Ветковский, Черчерский, Буда-Кошелевский) степень загрязнения радионуклидами составляла 60-72 Ки/км².

В Могилевской области высокой степени загрязнения подверглись Костюковичский, Чериковский, Краснопольский, Славгородский, Климовичский, Быховский районы, где показатель загрязнения колебался от 64 до 75 Ки/км². В отдельных населенных пунктах этот показатель составлял 100 и более Ки/км² (в д. Чудзяны Чериковского района он составил 146,5 Ки/км²).

В Брестской области плотность загрязнения почвы цезием-137 в некоторых населенных пунктах составляла 5-10 Ки/км² (Лунинецкий, Пинский, Столинский районы). В Минской области - от 5 до 15 Ки/км² – 5 населенных пунктов Воложинского и 3 - Солигорского районов. От 1 до 5 Ки/км² зарегистрирована плотность загрязнения в некоторых населенных пунктах и территориях Борисовского, Березинского, Логойского, Молодечненского и Вилейского районов Минской области.

В Гродненской области плотность загрязнения в 1-5 Ки/км² выявлена в Ивьевском районе (12 пунктов) и по 1 пункту в Новогрудском, Дятловском, Кореличском районах. В Витебской области загрязнение почв цезием-137 выше 1 Ки/км² не обнаружено.

Радиоактивное загрязнение почв носит неравномерный, "пятнистый" характер. Это наблюдается даже в пределах одного населенного пункта. Так, в поселке Колыбань Брагинского района величина загрязнения цезием-137 колеблется от 5 до 70 Ки/км².

Загрязнение территории республики стронцием-90 носит более локальный характер. Максимальный уровень содержания его в почве обнаружен в пределах 30 километровой зоны ЧАЭС - 50 Ки/км². На остальной загрязненной территории он колеблется в пределах 0,7-0,9 Ки/км².

Радиоактивное загрязнение воздуха определяется содержанием пыли в приземном слое воздуха на загрязненной территории. Пылеобразование особенно возрастает при лесных, торфяных пожарах, во время проведения сельскохозяйственных и других работ, связанных с нарушением почвенного покрова (лесоразработки, прокладка гидротехнических и других сооружений). В этих условиях радиоактивность воздуха возрастает в десятки - сотни раз.

Наибольшему радиоактивному загрязнению подвержены открытые водоемы, и в первую очередь бассейны рек : Днепр, Сож, Припять и др. Так, в доаварийный период концентрация цезия в р. Припять составляло 0,0066 Бк/л. В первые дни после аварии этот показатель превышал 3000 Бк/л, и только к концу мая 1996 г. он снизился до 200 Бк/л. В отличие от цезия-137 большая часть стронция-90 (50-99%) мигрирует в растворенном состоянии.

Процесс самоочищения сточных вод характеризуется постоянной сменой масс воды, выпадением взвешенных радиоактивных частиц на дно водоемов, сорбцией находящихся в растворенном состоянии радионуклидов взвешенными донными минералами и органическими веществами. Поэтому для поверхности воды характерно уменьшение концентрации радионуклидов, а в донных отложениях и водной растительности отмечается ее повышение.

Радионуклидное загрязнение непроточных водоемов характеризуется тем, что идет накопление радионуклидов в водной растительности и донных отложениях, поверхность воды при этом самоочищается в меньшей степени по сравнению с проточными водами. Например, концентрация цезия-137 в воде о.Святское (Ветковский район) составляет 8,7 Бк/л, 3700 Бк/кг в биоте и 20000 Бк/кг (сухой массы) в рыбе.

Подземные (грунтовые) воды ранее, до аварии, по активности составляли тысячные доли Бк/л. После Чернобыльской аварии удельная активность грунтовых вод в Нижне-Припятской зоне составила 3,0 Бк/л по цезию-137 и 1,0-2,0 Бк/л по стронцию-90. Отмечается четкая зависимость между плотностью загрязнения поверхности территории и содержанием радионуклидов в грунтовых водах. В первые дни после аварии на ЧАЭС около 80% радиоактивной пыли было задержано наземными частями деревьев и растений и около 20% осело на почвенный покров. В настоящее время в наземной части лесных насаждений находится 5-7% радионуклидов. Результаты прогноза показывают, что накопление радионуклидов в древесине будет нарастать за счет корневого их поступления. В ближайшие 10-15 лет 30-летний сосняк накопит до 15% от общего запаса цезия-137 в данном лесном массиве.

Из пищевой продукции леса наиболее загрязнены грибы и ягоды (черника, клюква, земляника). Радиоактивное загрязнение лесной продукции следует ожидать и в последующие 30-40 лет на территориях с плотностью загрязнения 5 и более Ки/км².

Проведенные наблюдения в течение последних нескольких лет позволяют прогнозировать сохранение радиационной экологической обстановки на последующие десятилетия как по характеру загрязнения, так и по уровням.

7.4. Экономические последствия катастрофы на ЧАЭС

Чернобыльская катастрофа оказала воздействие на все сферы жизнедеятельности человека – производство, культуру, науку, экономику и др. Из сельскохозяйственного оборота выведено 2,64 тыс. кв. км сельхозугодий. Ликвидировано 54 колхоза и совхоза, закрыто девять заводов перерабатывающей промышленности агропромышленного комплекса. Резко сократились посевные площади и валовой сбор сельскохозяйственных культур, существенно умень-

шилось поголовье скота.

Значительно уменьшены размеры пользования лесными, минерально-сырьевыми и другими ресурсами. В зоне загрязнения оказались 132 месторождения различных видов минерально-сырьевых ресурсов, в том числе 47 % промышленных запасов формовочных песков, 19 % строительных и силикатных, 91 % стекольных песков республики, 20 % промышленных запасов мела, 13 % запасов глин для производства кирпича, 40 % тугоплавких глин, 65 % запасов строительного камня и 16 % цементного сырья.

Из пользования выведено 22 месторождения минерально-сырьевых ресурсов, балансовые запасы которых составляют почти 5 млн. куб. м строительного песка, песчано-гравийных материалов и глин, 7,7 млн. т мела и 13,5 млн. т торфа. Из планов проведения геологоразведочных работ исключена территория Припятского нефтегазоносной области, ресурсы которой оценены в 52,2 млн. т нефти.

Большой урон нанесла Чернобыльская катастрофа лесному хозяйству. Более четверти лесного фонда Беларуси – 17,3 тыс. кв. км леса подверглись радиоактивному загрязнению. Ежегодные потери древесных ресурсов превышают в настоящее время 2 млн. куб. м, а к 2010 году они достигли 3,5 млн. куб. м. В Гомельской и Могилевской областях, где загрязнено радионуклидами соответственно 51,6 и 36,4 % общей площади лесных массивов, заготовка древесины на территории с плотностью загрязнения по цезию-137 555 кБк/кв.м и выше полностью прекращена.

В зоне загрязнения находится около 340 промышленных предприятий, условия функционирования которых существенно изменилось. В связи с отселением населения из наиболее пострадавших районов деятельность ряда промышленных предприятий и объектов социальной сферы прекращена. Другие же несут большие потери и продолжают терпеть убытки от снижения объемов производства, неполной окупаемости средств, вложенных в здания, сооружения, оборудование, мелиоративные системы. Существенными являются потери топлива, сырья и материалов.

Ущерб, нанесенный республике Чернобыльской катастрофой в расчете на 30-летний период ее преодоления, оценивается в 235 млрд. дол. США, что равно 32 бюджетам республики 1985 года. Сюда включены потери, связанные с ухудшением здоровья населения, ущербом, нанесенным промышленности и социальной сфере, сельскому хозяйству, строительному комплексу, транспорту и связи, жилищно-коммунальному хозяйству, загрязнением минерально-сырьевых, земельных, водных, лесных и других ресурсов, а также дополнительные затраты, связанные с осуществлением мер по ликвидации и минимизации последствий катастрофы и обеспечением безопасных условий жизнедеятельности населения.

Проведенная оценка ущерба не является окончательной, поскольку причинно-следственные связи, отражающие воздействие радиоактивного загрязнения территории на различные стороны жизнедеятельности, достаточно сложны. Наука пока не располагает полной и окончательной информацией о медико-

биологических, социальных и экологических последствиях чернобыльской катастрофы.

Кроме того, экономический кризис в республике поставил радиоактивно загрязненные территории в особо сложные социально-экономические условия. На них особенно резко проявляются общие черты кризиса: спад производства, отток из этих районов населения, неразвитость потребительского сектора, низкий уровень удовлетворения потребностей в социально-бытовом и медицинском обслуживании населения.

Природные ресурсы и производственный потенциал наиболее пострадавших территорий оказались выведенными из сферы экономической деятельности вследствие введенных ограничений на условия проживания людей и ведение хозяйственной деятельности. Очевидно, что ни быстрое самовосстановление этих регионов, ни прямая реставрация здесь объектов народного хозяйства невозможны в условиях проводимого в настоящее время реформирования экономики. В данном случае можно говорить лишь о длительном процессе реабилитации, который подразумевает поэтапное введение в народнохозяйственную сферу утраченного потенциала по мере создания безопасных условий для проживания людей и развития тех отраслей, деятельность которых возможна в условиях радиоактивного загрязнения без ущерба для здоровья населения.

Характер и величина ущерба, нанесенного катастрофой на ЧАЭС, явились мощными дестабилизирующими факторами социально-экономического развития республики. В итоге все основные отрасли народного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения попали в исключительно тяжелое экономическое положение.

Контрольные вопросы:

1. Признаки классификаций ядерных энергетических установок и их характеристика.
2. Назначение зоны воспроизводства в ВВЭР и ее характеристика.
3. Достоинство трехконтурной техногенной схемы в атомных реакторах.
4. Достоинства реакторов на быстрых нейтронах по сравнению с реакторами на тепловых нейтронах.
5. Причины аварии на 4 блоке Чернобыльской АЭС.
6. Факторы, оказавшие влияние на радиационную обстановку, которая сложилась в начальный период после аварии на ЧАЭС.
7. Изотопы, выброшенные в начальный период после аварии на ЧАЭС и их характеристика.
8. Изотопы, определяющие радиационную обстановку в настоящее время и их характеристика.
9. Характеристика этапов формирования радиоэкологической обстановки в результате аварии на ЧАЭС.

8. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

8.1. Общие принципы защиты населения от ионизирующих излучений

Человек подвержен облучению не только естественными, но и искусственными источниками ионизирующих излучений, которые могут превосходить допустимые нормы. Отсюда возникает необходимость защиты человека от этой опасности. Условия безопасности требуют проведения защитных мероприятий не только в отношении людей, работающих с радиоактивными веществами, но и тех, которые находятся в смежных помещениях или проживают на близких расстояниях от источников излучений.

Защита населения от ионизирующих излучений осуществляется проведением комплекса мероприятий, которые условно можно разделить на четыре группы: организационные, инженерно-технические, лечебно-профилактические и санитарно-гигиенические, применение средств индивидуальной защиты.

К основным организационным мероприятиям можно отнести: подготовку и содержание помещений для работы с радиоактивными веществами, защиту расстоянием и установление санитарно-защитных зон, защиту временем и др.

Требования к устройству и размещению помещений, в которых должны проводиться работы с радиоактивными веществами, определяются классом работ. В зависимости от группы радиационной опасности радионуклида, его активности на рабочем месте все работы с радиоактивными изотопами подразделяются на три класса. Особые требования предъявляются к помещениям работ 1-го класса. Такие помещения должны иметь знак радиационной опасности с указанием класса работы. Особые требования предъявляются к размещению оборудованию в тех помещениях, в которых проводятся работы 1-го класса. Эти помещения должны находиться в отдельном здании или изолированной части зданий, иметь отдельный вход через санпропускник. В них выделяются три зоны.

В первой зоне размещаются укрытия-боксы, камеры, оборудование, коммуникации, являющиеся источниками радиоактивного загрязнения.

Во второй зоне размещаются объекты и помещения, в которых люди могут находиться периодически (помещения для временного хранения отходов и др.).

В третьей зоне располагаются пункты управления, операторные, т.е. помещения для постоянного пребывания людей во время работы.

Между зонами устраиваются санитарные шлюзы для того, чтобы предотвратить перенос радиоактивных веществ. Желательно в одном помещении проводить работу с веществами одной активности. Это облегчает устройство защитных средств. Стены, потолки и двери делают гладкими, чтобы они не имели пор и трещин. Все углы в помещении закругляются для облегчения уборки помещений от радиоактивной пыли. Стены покрывают масляной краской на высоту 2 м, а при поступлении в воздушную среду помещения радиоактивных аэрозолей или паров стены и потолки покрывают масляной краской полностью.

Полы изготавливаются из плотных материалов, которые не впитывают

жидкости, применяя для этого линолеум, полихлорвиниловый пластикат и др.

В помещении предусматривается воздушное отопление. Обязательно устройство приточно-вытяжной вентиляции не менее чем с пятикратным обменом воздуха. Рециркуляция воздуха запрещена. В рабочих помещениях ежедневно проводят влажную уборку, а один раз в месяц - генеральную уборку с мытьем горячей мыльной водой стен, окон, дверей и всей мебели. Это предотвращает накопление радиоактивных загрязнителей. Уборочный инвентарь из помещений не выносят, а хранят в закрывающихся металлических шкафах или ящиках.

Перед началом работы с радиоактивными веществами тщательно проверяют действие вентиляции, состояние оборудования и средств индивидуальной защиты (СИЗ). При неисправности оборудования или СИЗ эксплуатацию помещения немедленно прекращают.

Для работы с газообразными и летучими радиоактивными веществами применяют боксы, специальные вытяжные шкафы, оборудованные местными отсосами. Боксы оборудуют закрытой системой вентиляции: приточный воздух подается по самостоятельной системе воздухопроводов, а удаляемый загрязненный воздух очищается в индивидуальном фильтре бокса.

Величина экспозиционной дозы облучения X , накопленная работником за время облучения t , оценивается выражением

$$X = \frac{Ak_{\gamma}t}{R^2}, \quad (9.1)$$

где A – активность источника излучения, мКи;

k_{γ} – гамма-постоянная радионуклида, равная мощности экспозиционной дозы, создаваемой гамма-излучением точечного радионуклидного источника активностью 1 мКи на расстоянии 1 см от него. Гамма-постоянная измеряется в $R \cdot \text{см}^2 / (\text{мКи} \cdot \text{ч})$ и определяется по таблицам;

R – расстояние от источника излучения до рабочего места, м.

Из выражения (9.1) следует, что величина экспозиционной дозы обратно пропорциональна квадрату расстояния между источником излучения и рабочим местом. Поэтому наиболее эффективным способом защиты от радиации является защита расстоянием, т.е. удаление рабочего места от источника излучения. В этом случае при работе с радиоактивными веществами широко применяются роботизированные комплексы, телевизионная аппаратура, дистанционное управление, копирующие и координатные манипуляторы, удлиненные держатели или захваты и другие средства.

В некоторых случаях условия работы с источниками не могут создать стационарную защиту (например, при перезарядке установок, извлечении радиоактивного препарата из контейнера, градуировке прибора). В этих случаях для защиты персонала используют защиту временем. Из формулы (8.1) видно, что величина экспозиционной дозы прямо пропорциональна времени облучения t . При защите временем организм человека подвергается облучению в меньшей степени.

Для максимального снижения доз облучения и охраны окружающей среды для каждого предприятия при работе в нормальных условиях нормативными

актами устанавливаются санитарно-защитная зона и зона наблюдения.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ) – это территория вокруг предприятия или источников радиоактивных отходов, на которой уровень облучения может превысить предел годовой дозы для лиц из населения (ПГДнас). В СЗЗ устанавливается режим ограничений: запрещается размещение жилых зданий, детских и лечебно-оздоровительных учреждений и других объектов, не относящихся к деятельности предприятия. Размеры СЗЗ определяются для каждого конкретного предприятия в зависимости от его типа и мощности, а также от климатических, метеорологических, топографических и других условий. Радиус СЗЗ для атомных электростанций может составлять от 3 до 5 км.

Зона наблюдения (ЗН) – территория, в которой возможно влияние радиоактивных газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов, где облучение может достигать ПГДнас. Минимальный радиус зоны наблюдения для атомных электростанций должен быть не менее 30 км.

На территориях СЗЗ и ЗН проводится радиационный контроль, который включает в себя контроль загрязнения атмосферного воздуха, почвы, растительности, воды открытых водоемов, продуктов питания и кормов местного производства.

К инженерно-техническим мероприятиям относят применение экранов. Под термином «экран» понимают передвижные или стационарные щиты, предназначенные для поглощения или ослабления ионизирующего излучения. Экранами служат стенки контейнеров, сейфов, боксов и др. Выбор материала для изготовления экрана зависит, прежде всего, от преобладающего вида излучения. Кроме того, учитываются энергия излучения, активность источника, наличие и стоимость материалов и др.

Для защиты от альфа-излучения достаточен слой воздуха в несколько сантиметров, т.е. небольшое удаление от источника. Применяют также экраны из плексигласа и стекла толщиной в несколько миллиметров.

Для защиты от бета-излучения применяют комбинированные экраны, которые изготавливаются из материалов с малой и большой атомной массой. Материалы с малой атомной массой дают наименьшее тормозное излучение. При использовании экранов для защиты от бета-частиц из таких материалов возникает высокоинтенсивное излучение малоэнергетических квантов, а при применении экранов из тяжелых материалов возникают кванты больших энергий, но меньшей интенсивности. При этом со стороны источника располагают материал с малой атомной массой, а за ним - с большой. Возникающие в материале внутреннего экрана кванты с малой энергией поглощаются в дополнительном экране из материала с большой атомной массой.

Для защиты от гамма-излучения применяют материалы с большой атомной массой и высокой плотностью (свинец, вольфрам и т.п.). Часто используют более легкие материалы, но менее дефицитные и более дешевые (сталь, чугун, сплавы меди). Стационарные экраны изготавливают из бетона.

Для защиты от нейтронного излучения применяют материалы, содержащие водород (вода, парафин), а также графит, бериллий и др. При защите от ней-

тронов и гамма-лучей применяют смеси тяжелых материалов с водой, а также слоевые экраны из тяжелых и легких материалов (железо - вода, свинец - полиэтилен и др.).

При расчете защитных устройств в первую очередь учитывают спектральный состав излучения, его активность, расстояние персонала от источника и время пребывания в сфере воздействия излучения. Используя выражение (9.1), рассчитывают величину экспозиционной дозы, которая может быть получена персоналом на заданном расстоянии и за определенное время работы при условии, что активность источника излучения A известна. Если активность источника излучения неизвестна, то ее можно определить из выражения

$$A = \frac{m}{k \cdot A_m \cdot T_{1/2}}, \quad (9.2)$$

где m – масса радионуклида, г;

A_m – атомная масса вещества;

$T_{1/2}$ – период полураспада радиоактивного вещества;

k – константа, зависящая от избранных единиц измерения.

Если период полураспада задан в сутках, активность - в беккерелях, а масса – в граммах, то $K = 2,07 \cdot 10^{-19}$.

Руководствуясь НРБ – 2000, определяют предельно допустимую экспозиционную дозу для персонала X_d . Производят расчет соотношения N из выражения

$$N = \frac{X}{X_d}, \quad (9.3)$$

где X – величина экспозиционной дозы, рассчитанная по формуле (9.1);

X_d – предельно допустимая величина экспозиционной дозы.

Зная значения N и линейного коэффициента ослабления μ (определяется по таблицам для поглощающего материала экрана), рассчитывают толщину защиты d для данного материала:

$$d = \frac{\ln N}{\mu}.$$

Для расчета толщины защиты в настоящее время применяют также таблицы, различные номограммы.

Эффективность экранов оценивают кратностью ослабления. Кратности ослабления определяют из выражений

$$K = \frac{X}{X_d} \quad \text{или} \quad K = \frac{P_{\text{ЭКСП}}}{P_{\text{ЭКСП.д}}},$$

где X ($P_{\text{ЭКСП}}$) – экспозиционная доза (мощность этой дозы) в данной точке при отсутствии защиты;

X_d – то же, при наличии защиты.

В зависимости от складывающейся обстановки для защиты населения от радиационного воздействия следует применять:

а) временное укрытие в домах и убежищах (стены деревянного дома ос-

лабляют ионизирующее излучение в 2 раза, кирпичного – в 10 раз; подвалы с деревянным покрытием – в 7 раз, а с кирпичным или бетонным – в 40...100 раз);

б) максимально возможную герметизацию помещений (плотное закрытие дверей, окон, дымоходов и вентиляционных отверстий), которая препятствует проникновению в помещение радиоактивных веществ с воздухом.

Химический метод защиты предусматривает проведение лечебно-профилактических и санитарно-гигиенических мероприятий. Этот метод защиты от радиации основан на том, что химические вещества «вмешиваются» в ту последовательность реакции, которая разворачивается в облученном организме, прерывают эти реакции либо ослабляют их. В настоящее время на противолучевую активность проверены разнообразные химические соединения. Вещества, обладающие радиозащитным эффектом, называются радиопротекторами. Такая защита применяется при кратковременном воздействии излучений, а также при длительном внешнем облучении маломощными дозами и лучевой терапии. Некоторой эффективностью обладают вещества природного происхождения, такие как экстракты элеутерококка, женьшеня, китайского лимонника и другие, так называемые адаптогены.

При приеме радиопротекторов снижается степень проявления радиационного поражения клеток.

Более сложной задачей является химическая защита от внутреннего облучения радионуклидами. Изотопы, поступающие внутрь организма, накапливаются в отдельных органах и тканях. Поэтому предварительное применение радиопротекторов, даже наиболее длительно действующих, неэффективно. Химическая профилактика преследует в этом случае другую цель: не допускать всасывания изотопов внутрь организма.

Рекомендуемые лечебно-профилактические и санитарно-гигиенические мероприятия по уменьшению поступления радионуклидов в организм с загрязненными продуктами питания сводятся к следующему:

проведение по возможности рациональной кулинарной обработки пищевых продуктов, предусматривающей, в частности, приготовление не жареных или тушеных, а отварных продуктов;

приготовление «вторичных» бульонов и отваров, которое проводится следующим образом. Мясо или рыба в течение 2-3 ч вымывается в холодной воде, затем вода сливается. Продукты заливаются новой порцией воды, которую доводят до кипения и сливают. Варку заканчивают в новой порции воды;

полное очищение корнеплодов и овощей от частиц земли, тщательная их промывка и снятие кожуры; широкое использование засолки или маринования овощей и фруктов;

ограничение употребления грибов;

увеличение употребления таких минеральных веществ, как калий, кальций, фосфор. Это достигается включением в рацион таких богатых калием и «чистых» от радионуклидов продуктов, как фасоль, горох, картофель, крупа овсяная и пшеничная, редька, капуста и др. К продуктам, богатым фосфором, относятся

крупа гречневая, яйца, хлеб ржаной, молочные продукты и др. Наличие в организме достаточных количеств стабильного калия, кальция и фосфора приводит к уменьшению накопления организмом человека радионуклидов;

круглогодичное насыщение организма витаминами.

Перечень упомянутых выше рекомендаций сводится к тому, чтобы питание было регулярным, полноценным, достаточным по калорийности, составу белков, жиров, витаминов и минеральных веществ.

Средства индивидуальной защиты предназначаются для защиты от попадания внутрь организма, на кожные покровы и одежду радиоактивных веществ. Они подразделяются на средства защиты органов дыхания и средства защиты кожи. К первым относят фильтрующие и изолирующие противогазы, респираторы, пневмошлемы, ватно-марлевые повязки и др.

Фильтрующие противогазы являются основным средством защиты органов дыхания. Принцип защитного действия их основан на предварительном очищении (фильтрации) вдыхаемого человеком воздуха от вредных примесей. Изолирующие противогазы применяются в том случае, когда фильтрующие противогазы не обеспечивают такую защиту, а также в условиях недостатка кислорода в воздухе.

К средствам защиты кожи относят: защитную фильтрующую одежду, специальную изолирующую защитную одежду и приспособленную одежду населения. Защитная фильтрующая одежда изготавливается в форме халата, комбинезона или полукombинезона из неокрашенной хлопчатобумажной ткани. Специальную изолирующую одежду применяют при длительном нахождении людей на загрязненной местности, при опасности значительного загрязнения помещения радиоактивными веществами, в ходе проведения дезактивационных работ. Такая одежда изготавливается в форме костюмов, комбинезонов из прорезиненной ткани. Конструкция этой одежды должна допускать подачу воздуха под одежду. Средством защиты может быть и обычная одежда, пропитанная мыльно-масляной эмульсией.

Необходимо периодически проводить контроль средств защиты при помощи дозиметрических приборов, так как с течением времени они могут частично потерять свои защитные свойства вследствие появления тех или иных незаметных нарушений ее целостности.

Защита населения может производиться расстоянием, установкой санитарно-защитных зон, проведением комплекса мероприятий лечебно-профилактического и санитарно-гигиенического характера, а также применением средств индивидуальной защиты.

Учитывая радиационную обстановку на территории Республики Беларусь, для населения можно рекомендовать перечень мероприятий, уменьшающих поступление радионуклидов в организм с зараженными продуктами питания.

8.2. Хранение, учет и перевозка радиоактивных веществ, ликвидация отходов

Радиоактивные вещества, у которых преобладают альфа- и бета-излучения, можно хранить в специальном железном сейфе, находящемся в лаборатории.

Гамма-активные вещества должны храниться в свинцовых контейнерах. Если допустимый уровень гамма-излучения на поверхности сейфа не превышает 0,3 мР/ч, то такой контейнер также может храниться в лаборатории. В том случае, когда фактический уровень превышает допустимую величину, контейнеры помещают в хранилище в виде колодцев или ниш. Извлечение препаратов из колодцев и ниш должно быть механизировано.

Радиоактивные вещества, при хранении которых возможно выделение радиоактивных газообразных продуктов или аэрозолей, следует хранить в вытяжном шкафу в закрытых сосудах. Если их хранят в хранилище, то должна быть предусмотрена круглосуточная работа вытяжной вентиляции.

Учет радиоактивных веществ должен показывать фактическое наличие их на предприятии в целом на любое время. Это обеспечивает повседневный контроль за использованием радиоактивных веществ. Радиоактивные вещества учитываются по уровню активности, которая указывается в сопроводительных документах.

Выдача радиоактивных веществ из мест хранения на рабочие места производится ответственным лицом только с разрешения руководителя учреждения, оформленного письменно. Возврат радиоактивных веществ в хранилище и их расход оформляется внутренними актами. Два раза в год комиссия, назначенная руководителем учреждения, проверяет наличие радиоактивных веществ, порядок их учета и выдачи.

Перевозить радиоактивные вещества можно любым видом транспорта. При транспортировке должна быть исключена всякая возможность их разлива или просыпания. Перевозят вещества в специальных контейнерах, упакованных в особой таре. Однако часто необходима дополнительная защита для выполнения предъявляемых требований при перевозке. В пределах города радиоактивные вещества транспортируют отдельной специально оборудованной машиной.

Регламенты захоронения радиоактивных отходов разрабатываются Государственным комитетом Республики Беларусь по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, Министерством здравоохранения, другими компетентными органами и утверждаются Советом Министров РБ.

Прием для захоронения радиоактивных отходов из-за пределов республики, как правило, запрещается. Захоронение радиоактивных отходов проводится за счет владельцев этих отходов.

Ликвидации радиоактивных отходов предшествует их разделение в месте образования. Концентрированные отходы следует собирать отдельно и не смешивать с разбавленными. Разбавленные можно сбрасывать прямо в сбросную систему или делать это после несложной предварительной очистки. Твердые отходы разделяют по активности, периоду полураспада. Система захоронения радиоактивных отходов может быть централизованной и индивидуальной. Однако небольшим предприятиям часто затруднительно организовать самостоятельное захоронение отходов. Поэтому более экономичной системой захоронения отходов является централизованная.

Спуск вод, содержащих радиоактивные вещества, в пруды, ручьи и другие

водоемы не допускается. Сброс радиоактивных сточных вод в поглощающие ямы, скважины запрещается.

Для захоронения радиоактивных отходов организуются специальные пункты. Эти пункты включают бетонные инженерные сооружения для твердых и жидких отходов, места для очистки машин и контейнеров, котельную, помещение для дежурного персонала, дозиметрический пункт и проходную. Пункт для захоронения радиоактивных отходов располагают на расстоянии не ближе 20 км от города, в районе, не подлежащем застройке (желательно в лесу), с санитарно-защитной зоной не менее 1000 м от населенных пунктов.

При выборе места для пункта захоронения необходимо отдавать предпочтение почве с водоупорными глинистыми породами. Могильники должны быть подземными и закрытыми, исключающими проникновение в них воды. Территория пункта захоронения ограждается и устанавливаются предупредительные знаки, обеспечивается постоянная охрана.

8.3. Государственная программа Республики Беларусь по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции

Чернобыль, с точки зрения радиационной безопасности биосферы, – это не просто авария, это глобальная катастрофа. Общество оказалось неподготовленным к глубокому осмыслению случившегося, к многомиллиардным экономическим затратам, к своевременному решению сложнейших организационных и совершенно неразработанных социально-психологических и правовых вопросов.

Время после аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) подразделяют на три периода.

Первый период – апрель-май 1986 г. В нем производились первые оценки масштабов катастрофы, районов загрязнения, эвакуация населения и сельскохозяйственных животных из 30-километровой зоны, аварийные работы по ликвидации пожара и сильных выбросов. Главную опасность в это время представляло внешнее облучение. Оно создавалось за счет короткоживущих радионуклидов, таких как йод-131, ксенон-133, криптон-85 и другие, а также «горячих частиц», находящихся в воздухе. На расплавленную зону реактора с вертолетов в течение нескольких дней сбрасывались тонны песка, доломита, свинца, бора. Падая с высоты, они также увеличили количество выносимых в атмосферу пыли и других аэрозолей, ставших радиоактивными.

Второй период – лето 1986-1987 г. г. Этот период характеризуется дообследованием загрязненных территорий, строительством объекта «Укрытие» («Саркофаг»), дезактивацией территории, обобщением первых результатов исследований. Основными источниками радиоактивной загрязненности были среднеживущие радионуклиды (рутений-106, церий-141,-144 и др.).

Третий период – 1988 г. и по настоящее время. Он характеризуется стабилизацией обстановки в 30-километровой зоне, упорядочением организации работ и дозиметрического контроля в ней, проведением научных исследований, обобщением материалов, дезактивацией населенных пунктов в загрязненных районах, перепрофилированием сельского хозяйства.

За период с апреля 1986 по 1989 г. правительствами бывшего Советского Союза и пострадавших республик был принят ряд решений о мерах по охране здоровья населения. Тем не менее, проведенных мероприятий оказалось недостаточно. В конце 1989 г. в Республике Беларусь была разработана Государственная программа на 1990-1995 г.г. и на период до 2000 года. Целью программы являлось создание безопасных для здоровья человека условий жизнедеятельности в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению, а также повышение качества жизни населения этих районов.

Для достижения поставленных целей в программе указаны следующие конкретные направления:

- отселение жителей из населенных пунктов и размещение их на новом месте жительства;

- повышение эффективности проводимых работ по дезактивации местности и стабилизации радиационной обстановки;

- научное обеспечение проблем, связанных с нормальной жизнедеятельностью в загрязненных районах;

- повышение уровня медицинского обслуживания и оздоровления населения, особенно детей;

- повышение уровня торгового, культурного, коммунально-бытового и транспортного обслуживания населения, народного образования в загрязненных районах;

- реализация рекомендаций по приведению технологии сельскохозяйственного производства и перерабатывающей промышленности в соответствие с требованиями, диктуемыми условиями радиоактивного загрязнения;

- организация систематической информации населения о проводимой работе по ликвидации последствий аварии.

В 1990 г. на первой сессии Верховного Совета Белоруссии парламентом республики было принято постановление «О мерах по ускорению реализации Государственной программы по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС». Постановление предусматривает:

- осуществить переселение людей, проживающих на территории с уровнем загрязненности 15 Ки/км^2 и выше;

- запретить на этих территориях производственное и жилищное строительство;

- прекратить с 1991 г. производство продукции, загрязненной радионуклидами выше допустимых уровней, независимо от плотности загрязнения сельскохозяйственных угодий;

- запретить начиная с 1990 г. использование продукции, собранной с загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных угодий, без специального заключения лабораторий и др.

Бесспорно, что в основе сохранения здоровья населения лежит отселение его с загрязненных территорий. Новые населенные пункты для переселения людей необходимо размещать на территориях с доаварийными уровнями загрязнения.

Совету Министров и Академии наук республики было поручено внести на рассмотрение осенней (1990 г.) сессии Верховного Совета концепцию проживания на загрязненных территориях. Разрабатываемая концепция основывалась на последних достижениях ученых в области работы по преодолению последствий аварии на ЧАЭС. Она базируется на положении, что любая доза облучения является опасной для человека. При этом учитываются: уровень загрязненности территории; дозы внутреннего и внешнего облучения, полученные населением со дня аварии; экологическая обстановка на загрязненных территориях; состояние здоровья проживающего там населения; социально-экономические особенности региона и возможность получения на этой территории чистой сельскохозяйственной продукции.

В ноябре 1991 Верховным Советом Республики Беларусь был принят закон «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС». Настоящий закон устанавливает правовой режим территорий Республики Беларусь, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате чернобыльской катастрофы, и направлен на снижение радиационного воздействия на население и экологические системы, на проведение природовосстановительных и защитных мероприятий, на радиационное использование природного, хозяйственного и научного потенциала этих территорий. Закон регулирует режим территорий радиоактивного загрязнения, условия проживания, осуществление хозяйственной, научно-исследовательской и другой деятельности на этих территориях.

При классификации территорий и зон радиоактивного загрязнения были приняты следующие критерии:

- а) возможность проживания населения (величина эффективной эквивалентной дозы облучения населения);
- б) уровень загрязнения территории и отдельных экологических систем;
- в) возможность получения экологически чистой продукции (сельскохозяйственной, лесохозяйственной, торфа, вод и других видов).

При разработке концепции было дано определение понятия «загрязненная территория». Территория радиоактивного загрязнения - это та часть территории республики, на которой имеется стойкое загрязнение окружающей среды радиоактивными веществами в результате катастрофы на ЧАЭС и где требуется проведение специальных защитных мер. При этом плотность загрязнения почв радионуклидами цезия-137 либо стронция-90 или плутония-239 должна быть соответственно: 1,0; 0,15; 0,01 Ки/км² и более. Вся территория по плотностям загрязнения разделена на пять зон:

- а) зона эвакуации (отчуждения) – территория вокруг ЧАЭС в пределах 30-километровых границ с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 100 и более Ки/км²;
- б) зона первоочередного отселения – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 40 до 100 Ки/км²;
- в) зона последующего отселения – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 15 до 40 Ки/км²;

г) зона с правом на отселение – территория с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 5 до 15 Ки/км²;

д) зона проживания с периодическим радиационным контролем – с плотностью загрязнения почв от 1 до 5 Ки/км².

Характеристика зон произведена не только по цезию-137, но и по стронцию-90 и плутонию-239.

Принято решение о том, что если доза облучения населения не превышает 1 мЗв в год, то население не подлежит отселению. Возвращение населения в зону отселения производится решением Совета Министров республики по заключениям Министерства здравоохранения и Белорусской национальной комиссии по радиационной защите населения.

Территории отселения должны получить следующий статус:

а) заповедника - при уровнях по цезию-137 свыше 40 Ки/км². Проживание и любая хозяйственная деятельность в заповедниках запрещены;

б) заказника - при уровнях радиоактивного загрязнения от 15 до 40 Ки/км². В заказниках разрешена работа только обслуживающего персонала вахтовым методом при отсутствии медицинских противопоказаний и снабжении привозными продуктами питания. Допускается ограниченная хозяйственная деятельность (лесоустройство, поддержание функционирования мелиоративных систем и т.п.).

Особое внимание уделено ужесточению норм временно допустимых уровней (ВДУ) для продуктов питания. Это объясняется тем, что реализация в республике загрязненной радионуклидами продукции, даже при соблюдении существующих ВДУ, приведет к более высоким дозам внутреннего облучения. Для контроля за продуктами питания при Совете Министров республики создана система вневедомственного и общественного контроля.

Разработанная концепция учитывает экономические расчеты затрат на обеспечение безопасных условий для проживания и труда на загрязненных территориях, затраты на медицинское обслуживание, создание специальной техники и технологий по переработке сельскохозяйственной продукции, дезактивацию и др.

Государственный контроль за соблюдением правового режима на территориях радиоактивного загрязнения в зоне эвакуации осуществляется Государственным комитетом Республики Беларусь по проблемам последствий катастрофы на ЧАЭС, а в остальных зонах – областными Советами народных депутатов, их исполнительно-распорядительными органами, а также другими уполномоченными на это государственными органами.

В марте 1991 г. состоялась сессия Верховного Совета Республики Беларусь, на которой был рассмотрен один из вопросов социальной защиты пострадавшего населения от катастрофы на ЧАЭС. После обсуждения этого вопроса был принят закон «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС», который включает девять разделов. В первом и последнем разделах изложены общие положения; во втором – определен статус граждан, пострадавших от катастрофы; в третьем и четвертом разделах содержится перечень

льгот участникам ликвидации последствий и населению, пострадавшему от катастрофы. Пятый раздел посвящен вопросам оплаты труда гражданам, работающим на загрязненной территории. Пенсионное обеспечение населения и участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС изложены в шестом разделе. В седьмом и восьмом разделах изложен порядок прохождения воинской службы на территории радиоактивного загрязнения и медицинское обеспечение населения.

Чернобыльская катастрофа затрагивает практически все сферы общественной жизни, многие области науки и производства, вопросы морали и нравственности. Пройдет еще немало времени, прежде чем республика избавится от последствий чернобыльской аварии.

Контрольные вопросы.

1. Содержание и характеристика организационных мероприятий по защите населения от ионизирующих излучений.
2. Понятие о санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения.
3. Содержание инженерно-технических мероприятий и их характеристика.
4. Содержание лечебно-профилактических и санитарно-гигиенических мероприятий по защите населения от ионизирующих излучений.
5. Порядок хранения радиоактивных веществ на предприятиях.
6. Организация учета и транспортировка радиоактивных веществ.
7. Организация захоронения радиоактивных веществ.
8. Временные периоды после аварии на Чернобыльской АЭС и их характеристика.
9. Цели Государственной программы на 1990-1995 г.г. и основные направления их достижения.
10. Критерии классификации территории и зон радиоактивного загрязнения.
11. Характеристика зон, на которые разделена загрязненная территория Республики Беларусь.
12. Понятия статусов загрязненной территории – заповедник и заказник – их характеристика.
13. Закон Республики Беларусь «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС» и его краткое содержание.

9. НОРМИРОВАНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

9.1. Обоснование допустимых доз облучения

Нормирование радиационного облучения – задача радиационной гигиены, изучающей влияние радиоактивного облучения на здоровье человека с целью разработки методов противорадиационной защиты. Проблема защиты населения от действия радиационного облучения носит глобальный характер. Поэтому соответствующие мероприятия разрабатываются не только в отдельных странах, но и в международном масштабе. Этими вопросами занимается Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ). В Республике Беларусь вопросы гигиенического нормирования разрабатывает Национальная комиссия по радиационной защите. В своей работе комиссия руководствуется Нормами радиационной безопасности (НРБ – 2000).

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения необходимо руководствоваться следующими тремя основными принципами.

Принцип нормирования – непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения человека от всех источников излучения.

Принцип обоснования – запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением.

Принцип оптимизации – поддержание на возможно низком и доступном уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения.

В нормальных условиях эксплуатации источников излучения Нормами радиационной безопасности (в дальнейшем Нормами) установлены следующие категории облучаемых лиц:

а) физические лица, работающие с источниками излучения или лица, находящиеся по время работы в зоне их воздействия;

б) все население, включая лиц из персонала, вне сферы их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц установлены три класса нормативов:

а) основные пределы доз (ПД);

б) допустимые уровни монофакторного воздействия (т.е. для одного вида внешнего облучения, одного радионуклида, одного пути поступления радионуклида в организм), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и др.;

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

Основные пределы доз облучения приведены в табл. 9.1. Они не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Таблица 9.1

Основные пределы доз

Нормируемая величина	Предел дозы	
	Персонал	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 коже, кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв

Для каждой категории облучаемых лиц значение допустимого уровня для данного вида облучения определено таким образом, чтобы при таком показателе воздействия только одного данного фактора облучения в течение года значение дозы, накопленной за год, равнялось значению соответствующего предела дозы, указанного в табл. 9.1.

Таблица 9.2.

Радионуклид	Период полураспада	Поступление с воздухом	
		Предел годового поступления ПГПперс, Бк в год	Допустимая среднегодовая объемная активность ДОАперс, БК/м
Стронций-90 (Sr-90)	29,1 года	$8,3 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^2$
Цезий-137 (Cs-137)	30 лет	$4,2 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^3$
Плутоний-239 (Pu-239)	$2,41 \cdot 10^4$ лет	2,41	$7,8 \cdot 10^1$

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.

При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать пределов доз, установленных в табл. 9.1.

Значения допустимых уровней внутреннего облучения лиц из персонала: пределов годового поступления (ПГП) с вдыхаемым воздухом и допустимой среднегодовой объемной (ДОА) активности для некоторых радионуклидов приведены в табл. 9.2.

Значения допустимых уровней внутреннего облучения лиц из населения: пределов годового поступления с воздухом, водой и пищей, допустимой среднегодовой объемной активности для тех же радионуклидов приведены в таблице 9.3.

Таблица 9.3.

Радионуклид	Поступление с воздухом		Поступление с водой и пищей
	ПГЛнас., Бк в год	ДОАнас, Бк/м ³	ПГЛнас, Бк в год
Sr-90	$2 \cdot 10^4$	2,7	$1,3 \cdot 10^4$
Cs-137	$2,2 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^1$	$7,7 \cdot 10^4$
Pu-239	$2 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^3$

В табл. 9.2 и 9.3 выбраны те основные радионуклиды, которые оказывают влияние на радиационную обстановку в Республике Беларусь в настоящее время.

Годовая эффективная доза облучения H , Зв, равна сумме эффективной дозы внешнего облучения $H_{\text{вн}}$, накопленной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения $H_{\text{внут}}$, обусловленной поступлением в организм за этот же период:

$$H = H_{\text{вн}} + H_{\text{внут}},$$

где $H_{\text{вн}} \cong H_{\text{cp}} \cdot t$; H_{cp} – среднегодовое значение мощности эффективной дозы облучения, Зв/с;

$$H_{\text{внут}} = \sum_i \frac{1}{\lambda} (E_{\text{ib}} \Pi_{\text{ib}} + E_{\text{in}} \Pi_{\text{in}}) \cdot (1 - e^{-\lambda_i \tau}),$$

где λ_i – постоянная распада i -го радионуклида, с⁻¹;

$E_{\text{ib}} (E_{\text{in}})$ – дозовые коэффициенты для i -го радионуклида при поступлении с воздухом (с водой и пищей), Зв/Бк, определяемые по таблицам (приложения 2 и 3 НРБ-2000);

$\Pi_{\text{ib}} = A_{\text{vi}} \cdot V$ – годовое поступление i -го радионуклида (численное значение активности i -го радионуклида), проникшего внутрь организма с воздухом, Бк;

$\Pi_{\text{in}} = A_{\text{mi}} \cdot M$ – то же для поступления с пищей и водой, Бк;

A_{vi} – объемная активность i -го радионуклида, Бк/м³;

A_{mi} – удельная активность i -го радионуклида Бк/кг;

τ – интервал времени для определения значения ожидаемой эффективной дозы, равной 50 годам для лиц из персонала и 70 годам для лиц из населения;

t, V, M – стандартные значения времени облучения, объема воздуха, массы воды и пищи, с которыми радионуклид попадает в организм за календарный год. Значения стандартных параметров для лиц из персонала и из населения приведены в табл. 9.4.

Значения стандартных параметров

Наименование стандартных параметров	Персонал	Население
Время облучения t , секунд	$6,1 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^7$
Объем воздуха V , м ³ в год	$2,4 \cdot 10^3$	$7,3 \cdot 10^3$
Масса воды и пищи M , кг в год	0	730

При одновременном воздействии источников внешнего и внутреннего облучения должно выполняться условие, чтобы отношение годовой дозы внешнего облучения $H_{\text{вн}}$ к пределу годовой дозы ПГД и отношение годовых поступлений нуклидов с воздухом $\Pi_{\text{в}}$, пищей и водой. $\Pi_{\text{ин}}$ к их годовым пределам $\text{ПП}\Pi_{\text{в}}$ и $\text{ПП}\Pi_{\text{ин}}$ в сумме не превышали 1:

$$\frac{H_{\text{вн}}}{\text{ПГД}} + \sum_i \left(\frac{\Pi_{\text{в}}}{\text{ПП}\Pi_{\text{в}}} + \frac{\Pi_{\text{ин}}}{\text{ПП}\Pi_{\text{ин}}} \right) \leq 1.$$

В аварийных ситуациях для персонала и лиц, привлекаемых для проведения аварийных и спасательных работ, может быть разрешено планируемое повышенное облучение, которое выше установленных пределов доз указанных в табл. 9.1. Повышенное облучение допустимо только в тех случаях, когда нет возможности его исключить, и может быть оправдано лишь спасением людей, предотвращением дальнейшего развития аварии и облучения большого числа людей. Повышенное облучение допускается только для мужчин старше 30 лет и только при их добровольном письменном согласии после информирования о возможных дозах облучения и риске для здоровья.

Планируемое повышенное облучение в дозе не более 100 мЗв в год допускается с разрешением территориальных органов санитарно-эпидемиологической службы Министерства здравоохранения Республики Беларусь. Лица, подвергшиеся однократному облучению в дозе, превышающей 100 мЗв, в дальнейшей работе не должны подвергаться облучению в дозе свыше 20 мЗв в год.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающими 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.

Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих профессиональное обучение с использованием источников излучения, годовые дозы не должны превышать 1/4 значений, установленных для персонала.

При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе помещений не превышала 100 Бк/м³, а мощность эквивалентной дозы гамма-излучения не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв в час. В эксплуатационных зданиях среднегодовая эквивалентная объемная активность

дочерних продуктов радона и торона в воздухе жилых помещений не должна превышать 200 Бк/м³.

Важнейшей частью обеспечения радиационной безопасности является радиационный контроль, он имеет целью определение степени соблюдения принципов радиационной безопасности и требований нормативов, включая непревышение установленных основных пределов доз и допустимых уровней при нормальной работе, получение необходимой информации для оптимизации защиты и принятия решений о вмешательстве в случае радиационных аварий, загрязнения местности и зданий радионуклидами, а также на территориях и в зданиях с повышенным уровнем природного облучения.

Основными контролируемыми параметрами являются:

годовая эффективная и эквивалентная дозы;

поступление радионуклидов в организм и их содержание в организме для оценки годового поступления;

объемная и удельная активность радионуклидов в воздухе, воде, продуктах питания, строительных материалах и др.;

радиоактивное загрязнение кожных покровов, одежды, обуви, рабочих поверхностей;

доза и мощность дозы внешнего излучения;

плотность потока частиц и фотонов.

С целью оперативного контроля для всех контролируемых параметров установлены контрольные уровни. Значение этих уровней устанавливается таким образом, чтобы было гарантировано непревышение основных пределов доз и реализация принципа снижения уровней облучения до возможно низкого уровня. Обнаруженное превышение контрольных уровней является основанием для выяснения причин этого превышения.

Государственный надзор за выполнением Норм радиационной безопасности осуществляют органы санитарно-эпидемиологической службы Министерства здравоохранения Республики Беларусь и другие уполномоченные органы. Контроль за соблюдением Норм в организациях, независимо от форм собственности, возлагается на администрацию этой организации. Контроль за облучением населения возлагается на местные исполнительные и распорядительные органы.

9.2. Методика оценки радиационной обстановки

Под радиационной обстановкой понимают масштабы и степень радиационного загрязнения местности (воздуха), оказывающее влияние на жизнедеятельность населения и работу хозяйственных объектов. Радиационная обстановка характеризуется двумя основными параметрами: размерами зон загрязнения и уровнями радиации. Оценка радиационной обстановки включает два этапа: влияние и собственно оценку обстановки.

Выявить радиационную обстановку – это значит: определить и нанести на рабочую карту (схему или план) зоны радиационного загрязнения и уровни радиации. Выявление радиационной обстановки может проводиться двумя способами: путем прогнозирования (предсказания) и по данным радиационной раз-

ведки. Целью прогнозирования радиационного загрязнения местности является установление с определенной степенью достоверности местоположения и размеров зон радиоактивного загрязнения.

Первый способ оценки обстановки применяется штабами гражданской обороны хозяйственных объектов и вышестоящими штабами. Данные прогнозируемой обстановки используются для:

- а) своевременного оповещения населения;
- б) заблаговременного принятия мер защиты;
- в) своевременной постановки задач на ведение радиационной разведки.

Второй способ применяют командиры невоенизированных формирований, а также штабы гражданской обороны хозяйственных объектов.

Исходные данные для оценки радиационной обстановки добываются подразделениями разведки, то есть: постами радиационного и химического наблюдения; звеньями или группами радиационной и химической разведки, а также из информации, поступающей от соседних и вышестоящих штабов гражданской обороны.

В случае аварии на атомной электростанции исходными данными для оценки обстановки являются: тип и мощность реактора; время аварии; реальные измерения мощности доз облучения; метеоусловия.

После выявления обстановки производится ее оценка. Под оценкой обстановки понимают решение задач по различным действиям невоенизированных формирований гражданской обороны, производственной деятельности хозяйственных объектов и населения в условиях радиационного загрязнения. Такими задачами могут быть: определение возможных доз облучения при действиях в зонах загрязнения; определение допустимого времени начала работ в зоне (начала входа в зону) загрязнения по заданной (допустимой или установленной) дозе облучения; определение допустимой продолжительности пребывания в зоне по заданной дозе облучения; определение потребного количества смен для выполнения работ в зоне загрязнения и другие.

Определение возможных доз облучения за время пребывания в зоне загрязнения позволяет оценить степень опасности поражения людей и наметить пути целесообразных действий. С этой целью рассчитанное значение дозы облучения сравнивают с допустимой дозой. Если окажется, что люди получают дозу, превышающую допустимую, то необходимо сократить время пребывания в зоне или начать работы позже. Допустимую дозу облучения для личного состава невоенизированных формирований ($D_{доп}$) устанавливает начальник гражданской обороны хозяйственного объекта, то есть руководитель предприятия.

Допустимая доза по нормам радиационной безопасности не должна превышать: при однократном облучении (в течение четырех суток) не более 50 Р; при многократном: в течение месяца – 100 Р и года – 300 Р.

Для определения экспозиционной дозы облучения в результате аварии на атомной электростанции необходимы данные об уровне загрязнения местности спустя некоторое время после аварии ($P_{изм}$). Затем значение уровня загрязнения местности необходимо выразить через мощность экспозиционной дозы, при ус-

ловии, что 1 Ки/км² эквивалентен 15 мкР/ч. Рассчитывая величину эквивалентной дозы от внешнего облучения, следует иметь в виду, что 1 мкР/ч создает дозу облучения, равную 0,05 мЗв/год.

Экспозиционную дозу облучения X можно рассчитать из выражения:

$$X = \frac{P_x \cdot t_p}{K_{осл}}, \quad (9.1)$$

где P_x – средний уровень радиации за время t пребывания в зоне загрязнения;

t_p – продолжительность работы, ч;

$K_{осл}$ – коэффициент ослабления радиации, определенный по табл. 9.5.

Таблица 9.5

Средние значения коэффициента ослабления дозы облучения

Наименование укрытий, транспортных средств или условия расположения людей	$K_{осл}$
Открытое расположение на местности	1
Транспортные средства	
Автомобили, автобусы, троллейбусы, товарные вагоны	2
Пассажирские вагоны, локомотивы	3
Железнодорожные платформы	1,5
Промышленные и административные здания	
Производственные одноэтажные здания (цеха)	7
Производственные административные трехэтажные здания	6
Жилые каменные дома	
Одноэтажные/подвал	10/40
Двухэтажные/подвал	15/100
Трехэтажные/подвал	20/400
Пятиэтажные/подвал	27/400
Жилые деревянные дома	
Одноэтажные/подвал	2/7
Двухэтажные/подвал	8/12

Определение допустимой продолжительности пребывания в зоне загрязнения по установленной дозе облучения позволяет оценить целесообразные действия людей на загрязненной местности. Для оценки необходимо иметь следующие исходные данные:

а) P_1 – уровень радиации через 1 час после аварии, определяемый из выражения:

$$P_1 = P_{изм} \cdot K_2, \quad (9.2)$$

где $P_{изм}$ – измеренный уровень радиации на некоторое время на некоторое время, Р/ч;

K_2 – коэффициент перерасчета уровня радиации на некоторое время t , прошедшее после аварии. Он определяется по табл. 9.6.

б) t_n – время начала пребывания в зоне загрязнения, в часах;

в) $D_{\text{доп}}$ – допустимая (установленная, заданная) доза облучения, Р.

Таблица 9.6

Коэффициент пересчета уровней радиации на любое время, прошедшее после взрыва (K_2)

t, ч	K_2						
0,25	0,19	1,25	1,31	2,5	3,0	3,75	4,88
0,3	0,24	1,5	1,63	2,75	3,37	4	5,28
0,5	0,43	1,75	1,66	3	3,74	4,5	6,08
0,75	0,71	2	2,3	3,25	4,11	5	6,9
1	1,0	2,25	2,65	3,5	4,5	5,5	7,73
6	8,59	8,5	13,04	12	19,72	17	29,95
6,5	9,45	9	13,96	13	21,71	18	32,08
7	10,33	9,5	14,9	14	23,73	19	34,21
7,5	11,22	10	15,85	15	25,73	20	36,44
8	12,13	11	17,77	16	27,86	21	38,61

Вначале рассчитывают относительную величину «а» (ее значение необходимо для вхождения в график) из выражения:

$$a = \frac{P_1}{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{осл}}}, \quad (9.3)$$

Зная значение «а» и время $t_{\text{н}}$, по графику рис. 9.1 определяют допустимую продолжительность пребывания людей $t_{\text{р}}$ на загрязненной местности.

Методику определения величины экспозиционной дозы облучения, полученной рабочими в заданное время, а также продолжительности пребывания внутри цеха людей рассмотрим на примере решения задачи.

Задача 1. Рабочим предстоит вести работы на открытой местности, загрязненной цезием-137. Загрязнение произошло в результате аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. Уровень загрязнения на указанное время начала работ ($P_{\text{изм}}$) составлял 30 Ки/км². Определить экспозиционную дозу облучения, которую получают рабочие от внешнего облучения в течение 10 часов.

Решение.

1. По графику (рис. 9.2) определяем уровень загрязнения местности на 2002 год. Он составит 24 Ки/км², т.е.

$$P_{\text{изм}} = 24 \text{ Ки/км}^2.$$

2. Выражаем уровень загрязнения местности (Ки/км²) через мощность экспозиционной дозы при условии, что 1 Ки/км² эквивалентен 15 мкР/ч.

Тогда

$$P_x = 24 \cdot 15 = 360 \text{ мкР/ч.}$$

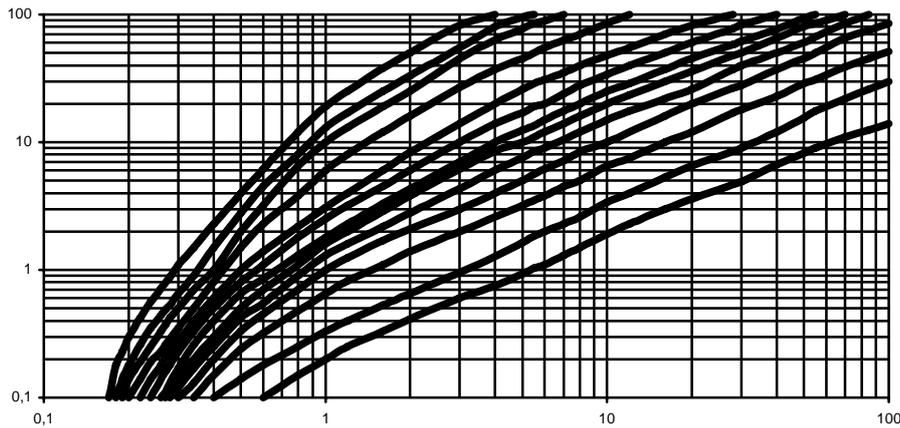


Рис. 9.1. График для определения продолжительности пребывания в зоне радиоактивного заражения

3. Рассчитываем величину экспозиционной дозы облучения, которую получают рабочие за 10 часов работы из выражения (9.1),

$$X = \frac{P_x \cdot t_p}{K_{осл}} = \frac{360 \cdot 10}{1} = 3600 \text{ мкР} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ мкР}.$$

Задача 2. Определить допустимую продолжительность пребывания рабочих внутри здания цеха, имеющего коэффициент ослабления $K_{осл} = 10$, если работы начались через 2 часа после аварии, а уровень радиации на это время составил 100 Р/ч. Допустимая доза на время работы составляет $D_{доп} = 25 \text{ Р}$.

Решение.

1. Определяем уровень радиации через 1 час после взрыва из соотношения (9.2):

$$P_1 = P_{изм} \cdot K_2 = 100 \cdot 2,3 = 230 \text{ Р/ч}.$$

2. Рассчитываем относительную величину «а» из выражения (9.3):

$$a = \frac{P_1}{D_{доп} \cdot K_{осл}} = \frac{230}{25 \cdot 10} = 0,9.$$

3. По графику (рис. 9.1) определяем допустимое время пребывания рабочих внутри здания цеха (для $a = 0,9$ и времени начала облучения 2 часа); оно составит примерно 7,5 часов.

Вывод. В заданных условиях рабочие могут находиться не более 7,5 ч; при этом доза облучения не превысит допустимой (25 Р).

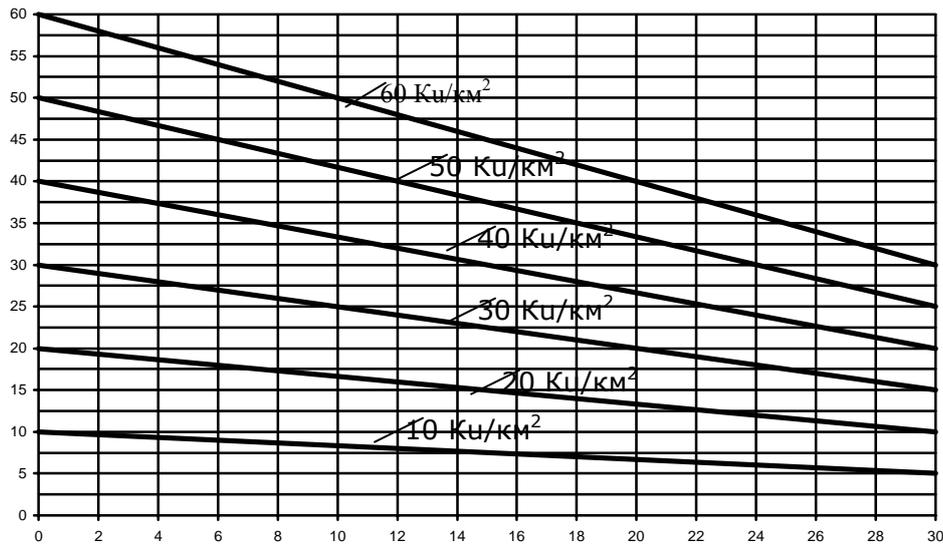


Рис. 9.2. График снижения уровня загрязнения в течение периода полураспада цезия-137

Контрольные вопросы:

1. Основные принципы обеспечения радиационной безопасности и их сущность.
2. Категории населения, установленные Нормами, и их характеристика.
3. Классы нормативов, установленные Нормами, для категорий облучаемого населения.
4. Характеристика основных пределов доз облучения для лиц персонала и населения.
5. Поясните методику расчета ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения.
6. Поясните условие одновременного воздействия источников внешнего и внутреннего облучения организма человека.
7. Понятие о повышенном облучении организма и его характеристика.
8. Нормируемые параметры дочерних продуктов радона и торона в проектируемых и жилых зданиях.
9. Перечислите основные контролируемые параметры ионизирующего излучения.
10. На кого возложен контроль за соблюдением Норм в организациях и за облучением населения?
11. Понятие о радиационной обстановке и этапах ее оценки.
12. Способы оценки радиационной обстановки и их сущность.
13. Цель получения сведений в ходе оценки радиационной обстановки и методы прогнозирования.
14. Перечень исходных данных, необходимых для оценки радиационной обстановки при аварии на атомных электростанциях.
15. Величины допустимых доз облучения населения при однократном и многократном облучении.

10. БЕЗОПАСНОСТЬ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

10.1. Виды и источники электромагнитных излучений (ЭМИ)

Источники ЭМИ (рис. 10.1) можно характеризовать по нескольким критериям, из которых наиболее часто используемым является классификация по частотному диапазону. Основное деление всего известного диапазона излучений: радиоволны, инфракрасное излучение, видимый спектр, ультрафиолетовое, рентгеновское, гамма-излучение включает также и дополнительное дробление, определяемое условиями распределения радиоволн. Вошедшее в практику подразделение радиоволн на диапазоны приведено в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Деление радиоволн на диапазоны

Волны	Диапазон волн, м	Диапазон частот, Гц
Декамегаметровые	10^8-10^7	3-30
Мегаметровые	10^7-10^6	30-300
Гектокилометровые	10^6-10^5	$3 \cdot 10^2-3 \cdot 10^3$
Мириаметровые	10^5-10^4	$3 \cdot 10^3-3 \cdot 10^4$
Километровые	10^4-10^3	$3 \cdot 10^4-3 \cdot 10^5$
Гектометровые	10^3-10^2	$3 \cdot 10^5-3 \cdot 10^6$
Декаметровые	10^2-10	$3 \cdot 10^6-3 \cdot 10^7$
Метровые	10-1	$3 \cdot 10^7-3 \cdot 10^8$
Дециметровые	1-0,1	$3 \cdot 10^8-3 \cdot 10^9$
Сантиметровые	$10^{-1}-10^{-2}$	$3 \cdot 10^9-3 \cdot 10^{10}$
Миллиметровые	$10^{-2}-10^{-3}$	$3 \cdot 10^{10}-3 \cdot 10^{11}$
Децимиллиметровые	$10^{-3}-10^{-4}$	$3 \cdot 10^{11}-3 \cdot 10^{12}$
Световые	менее 10^{-4}	свыше $3 \cdot 10^{12}$

Источники радиоволн могут работать в пределах одного частотного диапазона или перестраиваться в некоторой полосе частот. С помощью электромагнитных волн можно передавать информацию в виде радиосигналов, отличающихся несущей частотой, шириной частотного спектра, видом модуляции. Таким образом, источник ЭМИ с точки зрения частотного деления характеризуется основной рабочей частотой (несущей частотой радиосигнала), шириной и видом спектральной характеристики излучаемого сигнала. Вид и ширина спектра ЭМИ зависят от мгновенного значения напряженности поля и характера изменения ее во времени.

Источники ЭМИ подразделяются на природные и антропогенные. *Природные источники ЭМИ* делят на две группы. Первая – поле Земли; его постоянное электрическое и постоянное магнитное составляющее. Вторая группа – радиоволны, генерируемые космическими источниками (солнце, звезды и т.д.), атмосферные процессы (разряды молний) и т.д. Естественное электрическое поле Земли создается избыточным отрицательным зарядом на поверхности; его напряженность обычно от 100 до 500 В/м. Грозовые облака могут увеличивать напряженность поля до десятков, а то и сотен кВ/м.



Рис. 10.1. Источники электромагнитного излучения

Во время солнечных вспышек и бурь на человеческий организм обрушивается комплексный поток ЭМИ, резко отличающихся своими основными физическими характеристиками и временем действия. Многолетние исследования действия ЭМИ на биологические структуры выявили разнообразные последствия этих воздействий, отличия которых можно объяснить не только различными энергетическими показателями, но и частотными характеристиками, определяющими механизмы действия каждой группы ЭМИ.

Рассмотрим характерный сценарий воздействия ЭМИ при солнечной вспышке или буре. При образовании мощного протуберанца на Солнце к Земле устремляются потоки ЭМИ и высокоэнергетических частиц. Электромагнитные поля достигают поверхности Земли примерно 8 минут. Высокоэнергетические частицы достигают Земли примерно через 2 суток и задерживаются магнитосферой Земли, вызывая при этом возникновение магнитных бурь или геомагнитных возмущений. После успокоения Солнца и разрушений протуберанцев поток ЭМИ резко ослабевает до шумовых значений, а геомагнитное возмущение продолжает сохраняться в течение нескольких дней. Таким образом, влияние солнечной вспышки или бури можно разделить на три фазы резко отличающихся по характеру воздействия.

В течение первой фазы на человека действуют только высокочастотные электромагнитные поля (ВЭМП), которые можно разделить на две группы по механизму взаимодействия без четкой границы между ними. Первая группа – сравнительно низкочастотные ВЭМП (300 МГц) и ниже. Они вызывают внутри

организма появление электрических потенциалов, особенно при возникновении резонансных явлений в отдельных органах. Эти потенциалы вызывают появление электрофоретических явлений. Вторая группа – ВЭМП, начиная примерно с 300 МГц, проявляют свое влияние на атомарном и молекулярном уровнях. Воздействие этих полей, благодаря явлением аккумуляции, вызывает возбуждение, принудительные ионизацию и диссоциацию биологических молекул.

Во время второй фазы к действию ВЭМП добавляется действие геомагнитного поля Земли, что вызывает существенное усиление воздействия солнечной вспышки на организм человека благодаря кооперативному действию низкочастотных ЭМП и ВЭМП. Появление низкочастотного магнитного поля приводит, во-первых, к возникновению явлений, обусловленных воздействием магнитного поля на макроструктуры и органы, обладающие магнитными свойствами. Во-вторых, магнитное поле вызывает принудительную ориентацию свободно взвешенных в жидкости молекул. Увеличение воздействия солнечной вспышки в этой фазе настолько возрастает, что некоторые исследователи отмечают максимум смертей и сердечно-сосудистых кризисов в первый день геомагнитных возмущений.

Третья фаза характеризуется прекращением действия всех ВЭМП и действием только низкочастотного магнитного поля. Магнитное поле продолжает действовать на макроструктуры человеческого организма и, в зависимости от толерантности организма, либо подчеркивает, либо ослабляет последствия воздействия.

Антропогенные источники ЭМИ. Наибольший вклад в электромагнитную обстановку жилых помещений в диапазоне промышленной частоты 50 Гц вносит электротехническое оборудование, а именно кабельные линии, подводящие электричество ко всем квартирам, другие здания, распределительные щиты, трансформаторы и др.

В настоящее время результаты выполненных исследований не могут четко обосновать предельные величины или другие обязательные ограничения для продолжительного облучения населения низкочастотными магнитными полями малых уровней. Исследователи из университета Карнеги в Питсбурге (США) сформулировали подход к проблеме магнитного поля, который они назвали «благоразумное предотвращение». Они считают, что пока наше знание относительно связи между здоровьем и последствием облучения остаются неполными, но существуют сильные подозрения относительно последствий этих излучений для здоровья. Поэтому необходимо предпринимать шаги по обеспечению безопасности.

Подобный подход был использован, например, в начальной стадии работ по проблеме биологического действия ионизирующего излучения: подозрение рисков ущерба для здоровья, высказанное в конце XIX в., основанное на твердых научных данных позволило обосновать необходимость применения защитных мероприятий.

Провода работающей линии электропередачи создают в прилегающем

пространстве электрическое и магнитное поля промышленной частоты. Расстояние, на которое распространяются эти поля от проводов линии достигает десятков метров. Дальность распространения электрического поля зависит от класса напряжения ЛЭП (цифра, обозначающая класс напряжения стоит в названии ЛЭП – например ЛЭП 220 кВ), чем выше напряжение – тем больше зона повышенного уровня электрического поля. При этом размеры зоны не изменяются в течении времени работы ЛЭП.

Дальность распределения магнитного поля также зависит от величины протекающего тока, от нагрузки линии. Поскольку нагрузка ЛЭП может неоднократно изменяться как в течение суток, так и с изменением сезонов года, размеры зоны повышенного уровня магнитного поля также меняются.

Электрические и магнитные поля являются очень сильными факторами влияния на состояние всех биологических объектов, попадающих в зону их воздействия, что явилось обоснованием для их нормирования (табл. 10.2).

Таблица 10.2

Допустимые уровни воздействия электрического поля ЛЭП на население

ПДУ, кВ/м	Условия облучения
1	2
0,5	внутри жилых зданий
1,0	на территории зоны жилой застройки
5,0	в населенной местности вне зоны жилой застройки; (земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа в пределах поселковой черты и сельских населенных пунктов в пределах черты этих пунктов), а также на территории орогов и садов
10,0	на участках пересечения воздушных линий электропередачи с автомобильными дорогами I – IV категорий
15,0	в ненаселенной местности (незастроенные местности, хотя бы и часто посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья)
20,0	в трудодоступной местности (недоступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населения

Сотовая радиотелефония является одной из наиболее интенсивно развивающихся телекоммуникационных систем. В настоящее время во всем мире насчитывается несколько сотен миллионов абонентов, пользующихся услугами этого вида подвижной (мобильной) связи.

Основными элементами системы сотовой связи являются базовые станции и мобильные радиотелефоны. Базовые станции (БС) поддерживают радиосвязь с мобильными радиотелефонами (МРТ), вследствие чего БС и МРТ являются источниками ЭМИ в УВЧ диапазоне.

Важной особенностью системы сотовой радиосвязи является весьма

эффективное использование выделяемого для работы системы радиочастотного спектра (многократное использование одних и тех же частот, применение различных методов доступа), что делает возможным обеспечение телефонной связью значительного числа абонентов.

БС являются видом передающих радиотехнических объектов, мощность излучения которых (загрузка) не является постоянной в течение суток. Загрузка определяется наличием владельцев сотовых телефонов в зоне обслуживания конкретной базовой станции и их желанием воспользоваться телефоном для разговора, что, в свою очередь, коренным образом зависит от времени суток, места расположения БС, дня недели и др. В ночные часы загрузка БС практически равна нулю, т.е. станции в основном «молчат».

Исследования электромагнитной обстановки на территории, прилегающей к БС, были проведены специалистами разных стран, в том числе Швеции, Венгрии и России. По результатам измерений, проведенных в Москве и Московской области, можно констатировать, что в 100% случаев электромагнитная обстановка в помещениях зданий, на которых установлены антенны БС, не отличалась от фоновой, характерной для данного района в данном диапазоне частот.

Мобильный радиотелефон (РРТ) представляет собой малогабаритный приемопередатчик. В зависимости от стандарта телефона, передача ведется в диапазоне частот 453-1785 МГц. Мощность излучения РРТ является величиной переменной, в значительной степени зависящей от состояния канала связи системы и «мобильный радиотелефон – базовая станция», т.е. чем выше уровень сигнала БС в месте приема, тем меньше мощность излучения РРТ. Максимальная мощность находится в границах 0,125 – 1,0 Вт, однако в реальной обстановке она обычно не превышает 0,05 – 0,2 Вт.

Вопрос о воздействии излучения РРТ на организм пользователя до сих пор является открытым. Многочисленные исследования, проведенные учеными разных стран, включая Россию, на биологических объектах дали противоречивые результаты.

Излучения видеотерминалов сегодня занимают особое место в рассматриваемой проблеме. Всеобщая компьютеризация общества остро поставила вопросы безопасности работы оператора. Объективно зафиксированы многочисленные жалобы пользователей компьютеров на ухудшение здоровья. Проблемы безопасности работы с монитором серьезны, что находит отражение в деятельности многих международных организаций.

Видеотерминалы изучают электромагнитные поля в очень широком диапазоне. В радиодиапазоне эти поля продуцируются катодной трубкой. Основными же их источниками служат горизонтальные и вертикальные отклоняющие катушки, которые сканируют электронный луч и работают в диапазоне 15-35 кГц. На расстоянии 50 см от экрана обычная напряженность электрических полей – от 0,5 до 10 В/м, а интенсивность магнитного поля – от 0,1 до 1,0 мГс. Видеотерминалы также продуцируют электрические и магнитные поля частотой 50 или 60 Гц (рис. 10.2.).

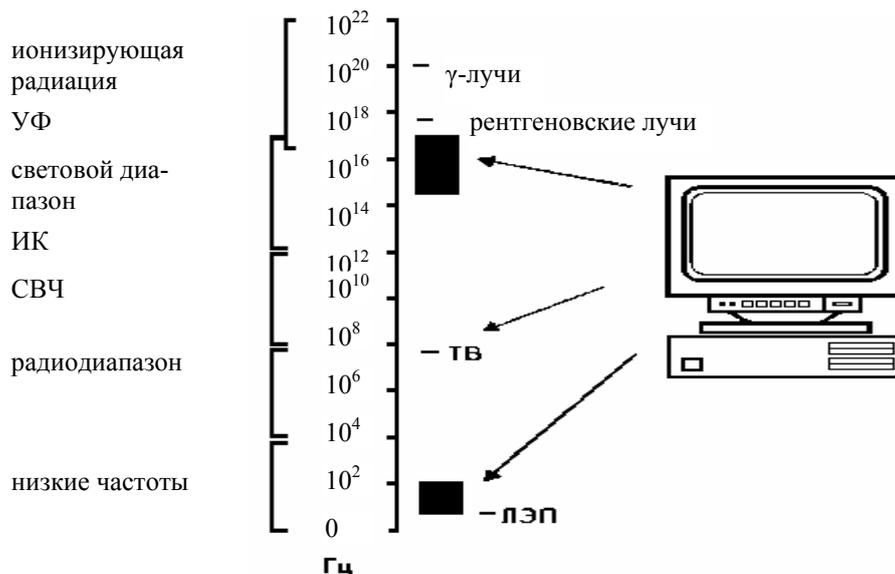


Рис. 10.2. Компьютер и его спектр электромагнитного излучения. Частоты, угнетающие функцию эпифиза, показаны штриховкой

10.2 Воздействие электромагнитных излучений на организм человека

Наблюдения и результаты экспериментов последних лет показывают, что ЭМИ космического, земного и околоземного происхождения играют значительную роль в развитии жизни на Земле. Так, давно известна высокая степень влияния солнечной активности на все виды биологической деятельности организмов: состав крови, лимфы и клеточные протоплазмы, а также на рост эпидемий разных инфекционных заболеваний, скорость размножения рыб, насекомых и некоторых млекопитающих. С изменением интенсивности геомагнитного поля тесно коррелируют годовой прирост деревьев, урожай зерновых культур, число инфарктов миокарда, психических заболеваний и даже число дорожных несчастных случаев. Установлено, что цикличность этих изменений оказывает регулирующее действие, а резкие аритмические изменения приводят к нарушению процессов жизнедеятельности, особенно заметных в период становления организма и в патологическом состоянии.

Биологическое воздействие электромагнитных излучений обычно связывают с их тепловым и нетепловым воздействием. Основными факторами, влияющими на нагрев и глубину проникновения волн, являются частота и мощность электромагнитного поля, причем в зависимости от частотного диапазона излучения человеческое тело может рассматриваться как проводящая, так и диэлектрическая среда. При нетепловом воздействии следует учитывать и информационные параметры поля (вид модуляции, ее частоту, поляризацию волны).

ЭМИ радиочастотного диапазона могут вызывать заболевания нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной систем, изменять показатели крови, обмена веществ. При длительном воздействии СВЧ излучений могут иметь место изменения в крови, помутнение хрусталика, нервно-психологические

заболевания, нарушение работы механизмов адаптации организма к изменениям условий внешней среды, а при увеличении энергии излучений – к нагреванию тканей, ожогам. Поэтому параметры электромагнитного поля, достигающие весьма значительных величин по отношению к тем, к которым человек и другие биологические объекты приспособились в течение эволюционного развития, могут обуславливать серьезные функциональные сдвиги, перерастающие в заболевания.

Нетепловое, или специфическое действие электромагнитного поля сводится к тончайшим изменениям в организме, обусловленным сильными и слабыми взаимодействиями ЭМИ с облучаемой средой. К первому типу относятся эффекты насыщения диэлектрика, ориентации поля, которые возникают при мощных источниках излучения. Возможным физическим механизмом слабого взаимодействия нетеплового характера является резонансное поглощение электромагнитной энергии белковыми молекулами, с которыми связывают, в частности, мутагенное действие СВЧ радиоволн.

Наиболее общим эффектом действия ЭМИ малых плотностей энергии (доли мВт/см²) на организм человека является нарушение работы механизмов адаптации организма к изменениям условий внешней среды (холод, шум, химическая травма и т.п.).

При систематическом действии на организм человека электромагнитной энергии (ЭМЭ), превышающих предельно допустимый уровень (ПДУ), вначале возникают компенсаторно-приспособительные реакции, являющиеся общими неспецифическими реакциями организма. Затем, при продолжении облучения, могут развиваться патологические изменения, обычно имеющие обратимый характер. И только в редких случаях, если облучение продолжалось в течение многих лет, возникают необратимые изменения со стороны нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем. Степень функциональных нарушений и тяжесть патологических изменений зависит от уровня напряженности поля или плотности потока энергии и характерности облучения, а также от индивидуальных особенностей организма.

Например, здоровый человек страдает от относительно длительного пребывания в поле ЛЭП. Кратковременное облучение (минуты) способны привести к негативной реакции только у гиперчувствительных людей или у больных некоторыми видами аллергии. При продолжительном пребывании (месяцы – годы) людей в электромагнитном поле ЛЭП могут развиваться заболевания преимущественно сердечно-сосудистой и нервной системы человека. В последние годы в числе отдаленных последствий часто называются онкологические заболевания.

То, что длительное воздействие интенсивных электромагнитных полей промышленной частоты может вызвать повышенную утомляемость, появление сердечных болей, нарушение функций центральной нервной и эндокринной системы было известно еще с предвоенных времен. Однако лишь в 60-х годах, в ходе промышленного бума, когда линии электропередач, контактная сеть железных дорог и метрополитена буквально опутали целые районы, стали

появляться все более тревожные сведения о негативном влиянии этих полей.

В одной из первых работ того времени сообщалось о наличии связи между развитием лейкоза у детей в штате Колорадо (США) и воздействием электромагнитного излучения сетей промышленной частоты. Вслед за этим появилась аналогичная информация при проведении исследований в Швеции (1958 – 1973 годы). Измерения электромагнитных излучений проводились у построек, расположенных в пределах 150 метров от подстанций, трансформаторов, электрических линий железных дорог, которые выявили аналогичный характер воздействия.

Позднее с целью проверки гипотезы о возможности развития опухолей у людей, проживающих вблизи воздушных линий электропередачи, в Швеции была проведена большая эпидемиологическая работа, которая закончилась в 1992 году. Под наблюдением находилось более 500 тысяч человек, проживающих от одного года до 25 лет в 800-метровых коридорах вдоль трасс ЛЭП 200 кВ и 400 кВ. Тщательная статистическая обработка данных показала, что существует корреляция между развитием рака, в особенности детской лейкемии, и воздействием полей ЛЭП.

В Дании было обследовано 1707 детей до 16 лет, проживающих вблизи ЛЭП, у которых развились опухоли мозга, злокачественные лимфомы и лейкемии. Устойчивая корреляция между развитием опухолей у детей и их поражением вблизи ЛЭП была установлена при средних значениях магнитного поля.

Важной проблемой в последние десятилетия является охрана здоровья, занятых на *компьютерах*. Мониторы компьютеров содержат электронно-лучевую трубку, которая является источником вредных для здоровья человека излучений.

Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) – это электронная пушка. Она заряжена отрицательно, а следовательно, вне ЭЛТ происходит накопление положительно заряженных частиц. Человек чувствует себя хорошо, когда в окружающей его среде соотношение положительных и отрицательных ионов почти одинаково. Однако перед экраном монитора образуется избыток положительных ионов. Имеющиеся в воздухе комнаты микрочастицы (пыль, дым табака и т.д.), разгоняются потоком положительно заряженных ионов и оседают на лице и глазах оператора, сидящего перед монитором.

В результате такой «бомбардировки» у оператора могут возникать головная боль, бессонница, раздражение кожи, усталость глаз.

Кроме того, лишенная отрицательных ионов атмосфера угнетающе действует на нервную систему, способствуя развитию депрессии и стрессового состояния у оператора.

В ходе опроса, проведенного ВЦИОМ в феврале 1994 года в Москве среди тех, кто работает на компьютере хотя бы раз в неделю, на вопрос «Устают ли ваши глаза при длительной работе на компьютере?» – подавляющее большинство – 74% ответили «да». Но это далеко не единственное следствие общения с компьютером. Пости каждый третий (31%) опрошенный отметил,

что у него ухудшилось зрение с тех пор, как он начал работать на компьютере. Почти столько же (30%) чувствуют, что становятся более раздражительными. Компьютерные «передозировки» сказываются на здоровье матерей и их потомства.

В 1992 году скандинавские ученые опубликовали результаты исследований, выводы из которых были весьма неутешительны: при пользовании видеотерминалами, создающими сильные магнитные поля в диапазоне низких частот, у женщин, активно работающих на компьютерах, вероятность выкидышей в 3,5 раза выше, чем у не пользующихся видеотерминалами.

Педагоги, психологи и врачи отметили повышенную утомляемость и рост частоты невротических состояний у детей и подростков, «играющих» с компьютером и «выигрывающих» у него. Появились сообщения об ухудшении остроты зрения и развития катаракты у программистов и операторов персональных компьютеров.

Аналогично описанным выше формируются излучения телевизора. В кинескопе с особого катода, находящегося под высоким напряжением, вылетают с большой скоростью электроны, бомбардирующие люминесцентный экран, создавая за счет движения луча (15-120 кГц) видимое изображение. Возникающее во время бомбардировки экрана вторичное облучение губительно действует на любой живой организм, находящийся вблизи экрана. Спектр вторичного излучения, очень широк – микроволновая, рентгеновская и ультрафиолетовая радиации, электронное излучение и другие виды электромагнитных полей.

Для преподавателей вузов и школ установлена длительность работы в дисплейных классах и кабинетах информатики не более 4 часов в день. Инженеры, обслуживающие учебный процесс в кабинете с ЭВТ и ПЭВМ, могут там находиться не более 6 часов в день. Если по роду своей трудовой деятельности работники вынуждены весь день проводить за компьютером, то суммарное время непосредственной работы с ПЭВМ не должно превышать 6 часов. Продолжительность непрерывной работы должна быть максимум полтора – два часа с перерывом на 10-15 минут.

Студенты первого курса могут работать на компьютере 1 час, старшекурсники – 2 часа с обязательным перерывом на 15 – 20 минут.

Для учащихся 10 – 11-х классов должно быть не более двух уроков на компьютерах в неделю, а для остальных классов – один урок.

Рекомендуется сидеть за компьютером:

для учащихся 1-х классов – 10 минут,

для учащихся 2 – 5-х классов – не более 15 минут,

для учащихся 6 – 7-х классов – не более 20 минут,

для учащихся 8 – 9-х классов – не более 25 минут,

для учащихся 10 – 11-х классов на первом часу учебных занятий – 30 минут, на втором – 20 минут.

Область облучения во время работы сотового телефона – прежде всего головной мозг, периферические рецепторы вестибулярного, зрительного и слухового анализаторов. При использовании сотовых телефонов с несущей

частотой 450 – 900 МГц длина волны незначительно превышает линейные размеры головы человека. В этом случае излучение поглощается неравномерно и могут образоваться так называемые горячие точки, особенно в центре головы. Расчеты поглощенной энергии электромагнитного поля в мозге человека показывают, что при использовании сотового телефона мощностью 0,6 Вт с рабочей частотой 900 МГц «удельная» энергия поля в головном мозге составляет от 120 до 230 мкВт/см² (норматив для пользователей сотовых телефонов 100 мкВт/см²). Итак можно ожидать, что длительное повторное воздействие за предельно допустимых доз излучения (особенно в дециметровом диапазоне волн) может привести к существенным изменениям биоэлектрической активности различных структур мозга и расстройствам его функций (например, состояния кратковременной и долговременной памяти).

Специальные эксперименты российских ученых показали, что мозг человека не только ощущает электромагнитное излучение сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи. Результаты эксперимента свидетельствуют о достоверных изменениях в биоэлектрической активности мозга человека. Особенно сильно эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля. Другие параметры функций (частота пульса, дыхание, электромиограмма, тремор, артериальное давление) не реагировали на облучение электромагнитным полем радиотелефона.

Изучение влияние ЭМИ телевизионных башен показало, что уровни излучения в квартирах домов, расположенных вблизи телебашен (например Останкинской) порой превышают допустимые в полтора-два раза. Поэтому судить о безопасности их влияния нет основания. Важным также является явление накопления биологического эффекта ЭМИ в условиях длительного воздействия (эффект кумуляции). Как результат этого процесса существует вероятность такой отдаленной патологии, как функциональные расстройства центральной нервной системы, изменение гормонального статуса, развитие опухолевой патологии. Особенно чувствительны к воздействию ЭМИ дети и эмбрионы, развивающиеся в утробе матери. Все это приводит к необходимости минимизировать контакт человека с ЭМИ, а в ряде случаев полностью исключать эту дополнительную нагрузку на человеческий организм, считая установленным и тот факт, что воздействие ЭМИ даже низкой интенсивности вызывает склонность к развитию стрессорных реакций, нарушению памяти.

Действие высокого напряжения особенно остро ощущается детьми. Результаты эпидемиологических исследований, проведенных в Швеции, Финляндии, Дании и США позволяют предположить, что высоковольтные ЛЭП и различные электросиловые установки могут влиять на заболеваемость детей лейо-зом и опухолями мозга. Непосредственно под проводами ЛЭП, даже при минимальном напряжении 320/220В, интенсивность электромагнитного излучения превышает норму. Действительно, если выйти на просеку ЛЭП, то можно увидеть зеленую траву и яркие цветы, но на них не будет пчел. Они наиболее чувствительны к воздействию электромагнитных полей.

Приведенные выше данные объясняются тем, что человек представляет

собой сложную систему, состоящую из множества подсистем, реагирующих весьма сложно на изменения внутренних и внешних раздражителей. Многочисленными исследованиями доказано, что основным носителем информации как внутри биологического объекта, так и между ними, в том числе и между людьми, является электромагнитное излучение. При этом циркуляция огромного потока информации в процессе жизнедеятельности человека возможна только при использовании сигналов малой мощности. Затраты энергии на формирование этих сигналов определяются энергетическими возможностями человека. По оценкам специалистов, суммарная мощность информационных сигналов не превышает 1–10 мВт или $10^{-3} \dots 10^{-4}$ тепловой мощности, излучаемой организмом, а мощность КВЧ излучения клетки составляет $R_{кл} = 10^{-23}$ Вт. Это привело к открытию отечественными и зарубежными учеными эффекта сверхмалых доз. Уровень биологической организации, на которой обнаружено действие сверхмалых доз, весьма разнообразен – от макромолекул, клеток, органов, тканей до животных, растительных организмов и целых популяций.

10.3. Ультрафиолетовая радиация, воздействие на организм

Ультрафиолетовым (УФИ) называется электромагнитное излучение в оптической области, примыкающее со стороны коротких волн к видимому свету и имеющее длины волн в диапазоне 200...400 нм.

Естественным источником УФИ является Солнце. Искусственными источниками УФИ являются газоразрядные источники света, электрические дуги, лазеры и др. Энергетической характеристикой УФИ является плотность потока мощности, выражаемой в Вт/м².

Ультрафиолетовое излучение Солнца принято делить в зависимости от длины волны на три диапазона. Диапазон А включает УФ-излучение с длинами волн меньше 400 нм и больше 320 нм. Диапазон В находится в пределах 280–320 нм, а диапазон С включает излучение с длинами волн от 200 до 280 нм.

Ультрафиолетовое излучение в диапазоне А озоном не поглощается. Если облучение лучами данного диапазона сопровождается действием определенных химических веществ, то оно становится вредным для здоровья людей.

УФ-лучи диапазона С – самые коротковолновые, но не менее опасны, чем рентгеновские. Если бы они проходили сквозь атмосферу Земли, то поглощались бы в верхнем слое кожи, буквально сжигая его. Однако УФ-С лучи полностью рассеиваются атмосферой Земли.

УФ-лучи диапазона В – самые опасные. Они в тысячу раз более канцерогенны, чем лучи диапазона А, но их отфильтровывает озоновый слой атмосферы Земли.

В небольших дозах УФ радиация Солнца благоприятно сказывается на здоровье человека и животных. Это связано с распадом белков кожного покрова, в результате которого выделяются вещества, обладающие защитным действием. Результаты медицинского обследования показали, что в северных районах России в результате недостаточного УФ облучения заболеваемость

детей пневмонией в два раза, а рахитом – в 2,5 – 3,0 раза выше, чем в южных районах.

Кроме того, УФ облучение способствует выработке в организме человека, животных и птиц витамина D₃, регулирующего процесс кальциевого обмена.

Совершенно противоположное действие оказывает УФ облучение в повышенных или больших дозах. Под их влиянием происходит распад важнейших элементов клеток. В клетке возникают вещества, блокирующие процессы воспроизводства ДНК и синтеза РНК.

Давно известно, что существует прямая зависимость между частотой заболевания опухолями кожи и дозой ультрафиолетовых лучей диапазона В, полученной от Солнца. По заключению комиссии экспертов ООН, ослабление озонового щита на 10% вызывает, если брать человечество в целом, увеличение случаев рака кожи на 26%. Механизм развития раковых заболеваний можно объяснить следующим: УФ-лучи диапазона В повреждают ДНК, разрывая водородные связи между атомами, либо создавая лишние мостики между элементами двойной спирали. В каждой клетке имеются механизмы для ремонта повреждений ДНК, и в большинстве случаев они справляются со своей задачей, но сами эти механизмы генетически запрограммированы и тоже связаны с ДНК. Если квант излучения попал в ген ремонта ДНК, механизм выводится из строя.

В атмосфере Земли содержится очень мало озона, однако он создал в оболочке Земли такие условия, благодаря которым на нашей планете зародилась и продолжает развиваться жизнь.

Озон (O₃) – это второе относительно устойчивое соединение, которое наряду с обычной формой O₂ может образовывать кислород. Озон появился на Земле, как только в атмосфере начал появляться кислород. Благодаря поглощению коротковолнового ультрафиолетового излучения он сразу же стал защитой живого на поверхности Земли. Стал возможным переход живых организмов из водной среды на поверхность Земли, и появление земноводных, а затем животных и человека.

Весь спектр поглощения озона от 230 до 300 нм представляет биологически активную область. Как известно, нуклеиновые кислоты поглощают γ-лучи примерно в том же диапазоне 240-300 нм, причем, нуклеиновая кислота покрыта еще оболочкой из белка, который имеет полосу поглощения 250-400 нм. Таким образом, нуклеиновая кислота защищена от губительного действия солнечной радиации, вызывающей мутации и гибель клетки.

На суше и в атмосфере смертельная угроза человечеству исходит от всеобщего истощения стратосферного озонового слоя. Это единственный своего рода тонкий экран, составляющий при атмосферном давлении всего лишь 2,0 – 2,5 миллиметра, который защищает людей и всю живую природу от жесткого ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучений солнечного спектра.

Запуск десятков тысяч мощных ракет, ежедневные полеты реактивных

самолетов в высоких слоях атмосферы, испытания атмосферного и термоядерного оружия, ежегодное уничтожение природного озонатора – миллионов гектаров леса – пожарами и хищнической вырубкой, массовое применение фреонов в технике, парфюмерной промышленности и бытовой химии – это главные факторы, разрушающие озоновый экран Земли.

В последние годы над Северным и Южным полюсами Земли возникли «озоновые дыры» (области пониженной концентрации озона), по площади превышающие 10 млн. кв. километров. Появились громадные «озоновые дыры» над многими регионами Европы, России и других стран. Разрушение озонового экрана Земли сопровождается рядом опасных явных и скрытых негативных воздействий на человека и живую природу. Выясняется, например, что жесткое УФ-излучение практически ничем не отличается от мягкого рентгеновского излучения, кроме как своими наименованиями.

Специалисты Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) озабочены снижением уровня стратосферного озона, так как это приводит к возрастанию УФ-облучения населения планеты. Программа ООН по окружающей среде (United Nations Environmental Programm) позволила ежегодно фиксировать в мире более 2 млн. случаев кожных раковых опухолей и около 200 тыс. меланомных раков кожи. Расчеты показали, что снижение содержания озона в стратосфере на 10% вызовет дополнительное появление в мире 300 тыс. больных с немеланомными видами рака кожи и 4,5 тыс. с меланомными.

Около 16 млн. человек в мире теряют зрение из-за развития катаракты и 20 % из них – под воздействием УФ-лучей. Эксперты предполагают, что число катаракт, вызванных солнечными УФ-лучами, увеличится на 0,5 % при падении количества озона в атмосферу на 1 % .

Особо пристальное внимание к состоянию озоновой оболочки Земли возникло, пожалуй, лишь в последние десятилетия – после того, как в 1987 г. была обнаружена самая большая за все время наблюдений «озоновая дыра» над Антарктидой. Содержание озона в атмосфере здесь сократилось по сравнению с предыдущими годами на 15 % вблизи поверхности Земли и на 50 % на высоте 18 км, где собственно и расположена озоносфера (слой воздуха, насыщенный озоном, на высоте от 10 до 50 км с максимумом концентрации O_3 на высоте ~ 20 км). Действительно, из-за озоновой дыры, расположенной над Антарктидой, уровни УФ-радиации здесь выше, чем на других материках.

10.4. Гигиенические аспекты тепловой радиации

Инфракрасные излучения (ИКИ) вместе с видимыми и ультрафиолетовыми (УФ), входят в оптический диапазон и представляет собой электромагнитное излучение с длиной волны (λ) от 0,76 мкм. Различают ближний, ИК-А спектр, с $\lambda=0,76 - 1,4$ мкм, средневолновой (ИК-В; $\lambda=1,4 - 3$ мкм) и дальний спектр (ИК-С; λ свыше 3 мкм). В гигиене окружающей среды труда практическое значение имеет ИКИ с длиной волны 0,76 – 10,0 мкм.

Источником ИК лучей является нагретое тело, и чем выше его температура, тем короче длина волны и выше энергия его электромагнитного

поля. ИКИ в однородной среде распространяются по прямой линии и при взаимодействии с телами они могут поглощаться, отражаться, преломляться и т.д.. Проходя через воздух, ИК лучи поглотившись твердыми телами или поверхностями, вызывают их нагрев.

Биологический эффект ИКИ проявляется при поглощении тканями организма падающей на них энергии, а ее количество определяется интенсивностью потока, величиной облучаемой поверхности, временем облучения, длиной волны. При воздействии повышенных уровней ИКИ на организм работающих у них происходит теплонакопление, учащается сердцебиение, ухудшается самочувствие, возникает опасность теплового удара и другие острые симптомы. Длительное воздействие ИКИ больших интенсивностей может способствовать повышению уровня общих заболеваний, более тяжелому их протеканию. Так среди рабочих литейных цехов до 20 % всех заболеваний сердечно-сосудистой системы (в основном вегето-сосудистые дистонии, артериальная гипертензия), связано с влиянием повышенной температуры, избыточного теплового облучения. ИКИ обладает и специфическим влиянием на отдельные ткани, являясь одной из причин развития конъюнктивита, катаракты, эритем и ожогов кожи. Эти нарушения чаще обратимы и предупреждаются соблюдением техники безопасности, а также защитной реакцией глаз на влияние как тепловой энергии, так и светового потока, который характерен для многих источников интенсивного ИК излучения.

Для комплексного исследования ИКИ проводились замеры его в горячих цехах, условия труда в которых определяет нагревающих микроклимат, и составляющим компонентом которого является тепловое, инфракрасное (ИК) излучение. Исследования показали, что ИКИ является самостоятельным фактором производственной среды, оказывающим непосредственное воздействие на работающих при многих процессах, в том числе термообработке, стекловарении, сварочных работах, обслуживании объектов теплоэнергетики, использовании различных ртутно-кварцевых источников тепла и света, в здравоохранении. Так в термическом производстве при загрузке, выгрузка деталей параметры ИКИ составляли, в зависимости от температуры металла, расстояния до источника от 1360 до 4700 Вт/м², а при закрытых печах – от 70 до 520 Вт/м². На рабочих местах кузнецов при ковке металла уровень ИКИ составлял от 500 до 1240 Вт/м², при выемке деталей из печей более 2000 Вт/м².

Близкими оказались величины ИКИ в литейном производстве: розлив металла в наливной ковш – 2400-3600 Вт/м², снятие шклага – 540-1390 Вт/м²; превышение ПДУ отмечалось и на рабочем месте машиниста крана – 155 Вт/м².

Пояльщики подвергаются воздействию ИКИ как во время непосредственной пайки, так и от остывающего, складированного в тару металла. Параметры ИКИ составляли 280 – 410 Вт/м² на уровне корпуса тела и 800 – 900 – на уровне рук работающих.

Мощный поток инфракрасного излучения формируется при резке и сварке

металла – это электрическая дуга, пламя факела горелки, а также нагретый металл. Параметры теплового излучения составляли при дуговой сварке $330 - 610 \text{ Вт/м}^2$, они зависели, от расстояния до источника, размеров свариваемых деталей. При автоматической и полуавтоматической сварке, а также в среде аргона и других защитных газов параметры теплового излучения были ниже.

Кроме указанных производств, ИК излучение, с уровнями, превышающими допустимые значения, определяется на предприятиях теплоэнергетики, в производстве стеклянных изделий, стройматериалов и других. Измеренные на разных рабочих местах параметры ИКИ различались между собой, в зависимости от рабочих мест, на один два порядка с учетом температуры излучателя, расстояния до него и других условий выполнения трудового процесса.

Гигиенические нормы излучения ИК-диапазона для производственных помещений, рабочих мест определены «Санитарными нормами микроклимата производственных помещений». Они устанавливают ПДУ в зависимости от размеров облучаемой поверхности, времени облучения, типа источника (открытое пламя, раскаленный металл, стекломасса или нагретые поверхности).

Таким образом, инфракрасное, тепловое излучение является значимым фактором условий труда и в ряде производственных процессов его параметры превышают санитарные нормы. Высокая частота жалоб и обращений за медицинской помощью работающих в условиях профессионального ИК-облучения требует контроля за состоянием этого фактора, разработки мер по снижению влияния данного излучения на лиц, подвергающихся его воздействию.

Отсутствие специальных нормативных документов по нормированию теплового излучения, методикам измерения и гигиенической оценки различных источников теплового излучения, включая промышленно-бытовые, требуют принятия мер по глубокому изучению данной проблемы, направленному, на обоснование мер профилактики.

Контрольные вопросы:

1. Источники формирования неионизирующих излучений, воздействие на организм.
2. Характеристика излучений сотовых радиотелефонов, воздействие на организм.
3. Излучения видеотерминалов, охрана здоровья занятых на компьютерах.
4. Электромагнитные поля токов промышленной частоты, воздействие на организм.
5. Ультрафиолетовая радиация, источники и последствия воздействия на организм.
6. Тепловая радиация, источники и последствия воздействия на организм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асаенок И.С. и др. Радиационная Безопасность: Учеб. Пособие. – Мн.: БГУИР, 2000.
2. Богуш В.А. и др. Электромагнитные излучения методы и средства защиты/Под ред. Л.М. Лынькова. – Мн.: Бестпринт, 2003.
3. Ветрова В.Т. и др. Курс радиационной безопасности: Учеб. Пособие для сельскохозяйственных вузов. – Мн.: Ураджай, 1995.
4. Голубев Б.П. Дозиметр и защита от ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1986.
5. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1978.
6. Инженерная экология: Учебник/Под. ред. Проф. В.Т. Медведева. – М.: Гардарики, 2002.
7. Ибрагимов М.Х. Атомная энергетика. Физические основы: Учеб. пособие для вузов. М.: Выс. шк., 1987.
8. Кашеев В.П. Ядерные энергетические установки. Мн.: Выс. шк., 1989.
9. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. М.: Энергоатомиздат, 1991.
10. Львов Г. Р. Чернобыль: анатомия взрыва // Наука и жизнь. 1989. №12.
11. Люцко А.М. Фон Чернобыля. Мн.: БелСЭ, 1990.
12. Люцко А.М., Ролевич И.В., Тернов В.И. Выжить после Чернобыля. Мн.: Выс. шк., 1990.
13. Матвеев Л.В., Рудик А.П. Почти все о ядерном реакторе. Мн.: Энергоатомиздат, 1990.
14. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87. М.: Энергоатомиздат, 1988.
15. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика. Ч.2: Ядерная физика. М.: Наука, 1989.
16. Усманов С.М. Радиация: Справочные материалы. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001.
17. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. М.: Наука, 1972.

Учебное издание

Асаенок Иван Степанович
Навоша Адам Имполитович

Радиационная безопасность

Ответственный за выпуск С.Л. Жукова
В авторской редакции
Компьютерная верстка П.Н. Чепиков

Подписано в печать 29.03.2004. Формат 60x84x 1/16. Бумага
офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл.печ.л. 6,75. Уч.-
изд.л. 7,0. Тираж 500 экз. Заказ 119

УП «Бестпринт». Лицензия ЛВ № 260 от 11.09.2000 г.
Отпечатано в типографии УП «Бестпринт»
Лицензия ЛП № 110 от 11.09.2000 г.
220007, Беларусь, Минск, Фабрициуса, 5.

**Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники**

Кафедра производственной и экологической безопасности

И. С. Асаенок Л. П. Лубашев А. И. Навоша

**ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ
В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Учебное пособие по дисциплине

"Защита населения и хозяйственных объектах
в чрезвычайных ситуациях"

для студентов всех специальностей

Минск 2000

УДК 614.876 (075.8)
ББК 51.269 Я 73

Рецензент:

Асаенок И.С. и др. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях: Учеб. пособие по дисциплине "Защита населения и объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях" для студентов всех специальностей / И.С. Асаенок, Л.П. Лубашев, А.И. Навоша Мн.: БГУИР, 2000 – с.: ил.

ISBN 985.444-089-3

Изложена характеристика чрезвычайных ситуаций и очагов ядерного, химического и бактериологического поражения; приведена организационная структура гражданской обороны, характеристика сил и системы оповещения населения в Республике Беларусь. Рассмотрены принципы и способы защиты населения в чрезвычайных ситуациях. Даны понятия об устойчивости работы промышленных объектов и основы ведения спасательных и других неотложных работ в очагах поражения, а также организация обучения населения по гражданской обороне.

Пособие предназначено для студентов всех специальностей, аспирантов, других специалистов, изучающих вопросы безопасности жизнедеятельности людей в чрезвычайных ситуациях.

УДК 614.876 (075.8)
ББК 51.269 Я 73

ISBN 985.444-089-3

© И.С. Асаенок, Л.П. Лубашев
А.И. Навоша, 2000

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

1.1 Понятие о чрезвычайных ситуациях и их классификация

В повседневной жизни все отклонения от нормального хода событий люди относят к чрезвычайным происшествиям или ситуациям. Человеческая практика доказывает, что любая деятельность (как необходимое условие существования человеческого общества) потенциально опасна. Потенциальная опасность – это сила скрытая. Чтобы она проявилась, необходимы какие-то условия. Условия, позволяющие потенциальной опасности перейти в реальную, называют причинами. Причины могут быть известными и неизвестными. Потенциальная опасность, при определённых условиях, реализуется в событие, называемое чрезвычайным, которое имеет различные последствия для общества (гибель и заболевания людей, материальный ущерб и т. п.).

Все бедствия принято объединять понятием чрезвычайной ситуации. В общем случае под ЧС понимают внешне неожиданную, внезапно возникающую обстановку, характеризующуюся резким нарушением установившегося процесса или явления и оказывающую значительное отрицательное воздействие на жизнедеятельность населения, функционирование экономики, социальную среду и природную среду.

Каждая ЧС имеет свою физическую сущность, свои причины возникновения, движущие силы, характер развития, свои особенности воздействия на человека и среду его обитания. Поэтому все ЧС могут быть классифицированы по ряду признаков: происхождению или причинам возникновения, по скорости распространения, масштабу распространения поражающих факторов.

По первому признаку чрезвычайные ситуации подразделяют на пять видов: техногенного, природного, экологического, биологического и социально-политического характера.

Техногенные ЧС – это аварии и катастрофы на радиационно и химически опасных объектах, транспортных средствах, взрывы и пожары на объектах народного хозяйства (ОНХ), в результате которых образовались разрушения зданий, создавалась опасность радиационного, химического и биологического заражения местности, возникли другие последствия, создающие угрозу населению и окружающей среде. Следует различать понятия аварии и катастрофы. Под аварией понимают внезапную остановку работы или нарушение процесса производства на промышленном предприятии, транспорте или другом объекте, приводящее к повреждению или уничтожению материальных ценностей. Под катастрофой понимают внезапное бедствие, влекущее за собой уничтожение материальных ценностей и гибель людей. Характер последствий аварий и катастроф зависит от их вида, масштабов и особенностей предприятий, на которых они возникли.

Причинами аварий и катастроф могут быть проектно-производственные дефекты зданий и сооружений, нарушения технологических процессов

производства, правил эксплуатации транспорта, оборудования, механизмов. Наиболее распространенными причинами являются нарушения технологического процесса и правил техники безопасности. Об этом свидетельствует авария на Чернобыльской АЭС, в результате которой на долгие годы был нарушен привычный ритм хозяйственной деятельности

ЧС природное происхождение – это прежде всего стихийные бедствия. Стихийные бедствия – такие явления природы, которые вызывают экстремальные ситуации, нарушают нормальную жизнедеятельность людей и работу ОНХ. Наиболее характерными стихийными бедствиями для различных географических регионов являются: наводнения, землетрясения, бури, ураганы и смерчи, селевые потоки, оползни и другие явления. За последние 20 лет стихийные бедствия унесли более 3 млн. жизней людей. По данным ООН, почти 1 миллиард жителей планеты за этот период испытали последствия стихийных бедствий. Только в 1987 г. в результате землетрясения в Армении погибло около 25 тысяч человек.

Бури, ураганы и смерчи представляют собой движение воздушных масс с огромной скоростью. Двигаясь над земной поверхностью, ураган ломает и вырывает с корнями деревья, срывает крыши и разрушает дома. Вихревыми образованиями в облаках порождаются разрушительные смерчи. Во внутренней полости смерча давление всегда пониженное. Поэтому туда засасываются любые предметы.

Селевой поток состоит из минеральных частиц, камней и обломков горных пород. Он возникает в бассейнах горных рек и вызывается ливневыми осадками или бурным таянием снегов. Смесь воды, грязи и камней несется потоком вниз со скоростью 15 км/ч. Эта смесь на своем пути разрушает жилые постройки, мосты, платины и т.д. Оползни – смещение масс горных пород вниз по склону под влиянием силы тяжести. Они возникают на участке склона или откоса вследствие нарушения равновесия пород.

Стихийные бедствия могут происходить: в результате быстрого перемещения вещества (землетрясения, оползни), в процессе высвобождения внутриземной энергии (вулканическая деятельность, землетрясения), при повышении водного уровня рек, озер и морей (наводнения, цунами), под воздействием сильного ветра (ураганы, бури, циклоны, смерчи), в результате действия самих людей (пожары, обвалы и другие). Для каждого стихийного бедствия характерно наличие присущих ему поражающих факторов, которые неблагоприятно воздействуют на здоровье человека.

По скорости распространения ЧС подразделяют на внезапные, стремительные, умеренные и плавные. К внезапным ЧС относятся землетрясения, взрывы, транспортные аварии и катастрофы, другие. К стремительным ЧС относятся пожары, аварии с выбросом сильнодействующих ядовитых веществ. К умеренным ЧС относятся паводковые наводнения, аварии с выбросом радиоактивных веществ. К плавным – засухи, эпидемии, загрязнения воды и почвы.

По масштабу распространения ЧС делятся на объектовые, местные, региональные, национальные и глобальные.

Объектовые ЧС ограничиваются пределами объекта. Ликвидацией последствий таких ситуаций занимаются невоенизированные формирования гражданской обороны под руководством начальника ГО объекта.

Местные ЧС ограничиваются пределами города, района, области. Для ликвидации последствий ситуаций привлекаются объектовые и территориальные невоенизированные формирования ГО, а в некоторых случаях воинские части гражданской обороны. Работами руководят соответствующие комиссии по чрезвычайным ситуациям, которые создаются в районах и городах на время работы, а в областях – существуют постоянно.

Региональные ЧС ограничиваются несколькими областями или территорией республики. Для ликвидации последствий таких ситуаций привлекаются невоенизированные формирования городов и сельской местности, воинские части гражданской обороны, а также силы и средства Министерств обороны, по чрезвычайным ситуациям и здравоохранения. Работами руководят областные комиссии по чрезвычайным ситуациям области.

Национальные ЧС ограничиваются территорией одного или нескольких государств (республик). Для ликвидации последствий ситуаций привлекаются силы и средства государства, на территории которого произошла ситуация. Работами руководят государственные (республиканские) комиссии по чрезвычайным ситуациям.

Глобальные ЧС распространяются на несколько государств и последствия их выходят за пределы границ СНГ. Для ликвидации последствий привлекаются все виды сил и средств гражданской обороны, взаимодействующих министерств (ведомств) республик, а также могут оказывать помощь силы и средства дальнего зарубежья. Работами руководят республиканские комиссии по чрезвычайным ситуациям.

Выше рассмотрены ЧС мирного времени; однако следует учитывать и ситуации военного времени, которые возникают в результате военных конфликтов. Известно, что в настоящее время имеются новые средства вооруженной борьбы, которые обладают огромным разрушительным и поражающим действием. Это прежде всего оружие массового поражения (ОМП), предназначенное для нанесения массовых потерь и разрушений. Научно-технический прогресс позволил создать современные средства доставки этого оружия к объектам удара с достаточно высокой степенью точности. Средствами доставки такого оружия являются ракеты наземного, морского и воздушного базирования, специально оборудованные самолеты, артиллерия, а также диверсионно-разведывательные группы.

Использование ОМП исключит существенную разницу между фронтом и тылом. Объектами поражения будут не только группировки вооруженных сил, но и административно-промышленные центры, крупные города, объекты промышленности, энергетики и другие, находящиеся в глубоком тылу. В связи с этим защита населения и объектов народного хозяйства должна быть организована на всей территории республики.

1.2 Природные чрезвычайные ситуации, характерные для Республики Беларусь

Для Республики Беларусь наиболее характерными чрезвычайными ситуациями природного характера являются: наводнения (затопления); снежные заносы и обледенения; пожары; бури, ураганы, смерчи и другие.

Наводнения – значительное затопление суши водой в результате подъема ее уровня выше обычного вследствие обильных осадков, быстрого таяния снегов, образования заторов льда. Причинами наводнения в основном являются весенние, летние и осенние паводки. Масштабы и начало их спрогнозировать можно за месяц и более. При значительном времени упреждения наводнения осуществляются мероприятия по возведению соответствующих гидротехнических сооружений на реках и в других местах предполагаемого наводнения, по подготовке и проведению заблаговременной эвакуации населения и сельскохозяйственных животных, по вывозу материальных ценностей из районов возможного затопления. Затопление может сформироваться также при разрушении гидротехнических сооружений в результате действия сил природы или диверсионных актов.

Снежные заносы и обледенения – проявления стихийных сил природы в зимний период. Они возникают в результате обильных снегопадов, которые могут продолжаться от нескольких часов до нескольких суток. Заносы и обледенения влияют на работу транспорта, коммунально-энергетического хозяйства, учреждений связи, сельскохозяйственных объектов. Резкие перепады температур приводят к обледенению электропроводов и линий связи, причиняют материальный ущерб гидротехническим комплексам и вызывают человеческие жертвы. Обледенение опасно для антенно-мачтовых и других подобных сооружений.

Пожары – стихийное распространение горения, проявляющееся в уничтожающем действии огня, вышедшего из-под контроля человека. Возникают пожары, как правило, при нарушении мер пожарной безопасности, в результате разрядов молнии, самовозгорания и других причин. Лесные пожары – неуправляемое горение растительности, распространяющееся на площади леса. В зависимости от того, в каких элементах леса распространяется огонь, пожары подразделяются на низовые, верховые и подземные (почвенные), а от скорости продвижения кромки пожара и высоты пламени пожары могут быть слабыми, средней силы и сильными.

Низовые пожары распространяются только по почвенному покрову, т.е. горение листьев, коры, пней, валежника и др.

Верховые пожары могут быть беглыми и устойчивыми. Беглые пожары возникают только при сильном ветре, огонь распространяется со скоростью до 25 км/ч и обычно опережает фронт низового пожара. При устойчивом пожаре огонь движется сплошной стеной от напочвенного покрова до крон деревьев со скоростью до 8 км/ч. Подземные (почвенные) лесные пожары обычно являются развитием низового пожара. Они возникают на участках с торфяными почвами или имеющих мощный слой подстилки.

Торфяные пожары чаще всего бывают в местах добычи торфа. Они возникают обычно из-за неправильного обращения с огнем, от разрядов молнии или самозагорания. Торф горит медленно на всю глубину его залегания. Торфяные пожары охватывают большие площади и трудно поддаются тушению.

Пожары в городах и населенных пунктах возникают при нарушении правил противопожарной безопасности, из-за неисправности электропроводки, распространения огня при лесных, торфяных и степных пожарах. Очень пожароопасны населенные пункты из деревянных построек с малыми расстояниями между зданиями. При пожаре в населенных пунктах сильный ветер может разносить воспламененный материал и искры на значительные расстояния и этим распространять пожар.

1.3 Действия населения при стихийных бедствиях

Стихийные бедствия постоянно нарушают трудовую деятельность не только отдельных населенных пунктов, но и в целом областей и республики, приводят к человеческим жертвам, уничтожению материальных ценностей. Поэтому ликвидация последствий стихийных бедствий, сохранение жизни людей – одна из главных задач гражданской обороны. Каждый житель в этих условиях должен быть стойким и мужественным, показывать образец дисциплины и организованности. Мы должны уметь: действовать по сигналам оповещения гражданской обороны; пользоваться средствами индивидуальной и медицинской защиты; работать с приборами радиационной и химической разведки, а также дозиметрического контроля.

Теперь каждый человек обязан не только знать, где находится защитное сооружение, что брать с собой при эвакуации, но и уметь спасать людей, сохранять материальные ценности, со знанием дела и высоким профессионализмом участвовать в работе по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Любое стихийное бедствие можно встретить по-разному. Растерянно или спокойно, с верой в собственные силы, с надеждой на их укрощение. Но уверенно принять вызов бедствий могут только те, кто, зная как действовать в той или иной обстановке, примет правильное решение: спасет себя, окажет помощь другим.

Масштабы и начало наводнения спрогнозировать можно за месяц и более. При значительном времени упреждения осуществляются мероприятия по возведению гидротехнических сооружений на реках и в других местах предполагаемого наводнения, по подготовке и проведению заблаговременной эвакуации населения и сельскохозяйственных животных, по вывозу материальных ценностей из районов возможного затопления.

Об эвакуации на случай наводнения, как правило, объявляется специальным распоряжением комиссии по борьбе с наводнением. Население о начале и порядке эвакуации оповещается по местным радиотрансляционным сетям и местному телевидению; рабочие – через администрацию предприятий

(учреждений); население, не занятое в производстве и сфере обслуживания, – жилищно-эксплуатационные конторы (службы) и домоуправления. Населению сообщаются места развертывания сборных эвакуационных пунктов, сроки явки на эти пункты, маршруты следования при эвакуации пешим порядком, а также другие сведения, соотносящиеся с обстановкой.

При наличии времени население из угрожаемых районов эвакуируется вместе с имуществом. Эвакуация производится в ближайшие населенные пункты, находящиеся вне зон затопления. Расселение эвакуируемых осуществляется в общественных зданиях или на жилой площади местных жителей.

В зонах возможного затопления прекращают работу школы, дошкольные детские учреждения, а в некоторых случаях предприятия и учреждения.

В случае внезапных наводнений оповещение населения производится всеми имеющимися техническими средствами, в том числе и с помощью громкоговорящих подвижных установок. Внезапность возникновения наводнения вызывает необходимость особых действий и поведения населения.

Если люди проживают на первом этаже или других нижних этажах и на улице наблюдается подъем воды, необходимо покинуть квартиру, подняться на верхние этажи; если дом одноэтажный – занять чердачные помещения. При нахождении на работе по распоряжению администрации следует, соблюдая установленный порядок, занять возвышенные места. Находясь в поле, при внезапном затоплении следует занять возвышенные места или деревья, использовать различного рода плавающие предметы. Попадая в воду, следует сбросить с себя тяжелую одежду и обувь, отыскать поблизости плавающие или возвышающиеся над водой предметы, пользоваться ими до получения помощи.

Снежные заносы усугубляются метелями (пургой, снежными бурями), при которых резко ухудшается видимость, прерывается транспортное сообщение как внутригородское, так и междугородное.

С объявлением штормового предупреждения о возможных снежных заносах необходимо ограничить передвижение, особенно в сельской местности, создать дома необходимый запас продуктов, воды и топлива. В отдельных районах с наступлением зимнего периода по улицам, между домами необходимо натянуть канаты, помогающие в сильную пургу ориентироваться пешеходам и преодолевать сильный ветер.

Особую опасность снежные заносы представляют для людей, застигнутых в пути далеко от человеческого жилья. Занесенные снегом дороги, потеря видимости вызывают полное дезориентирование на местности.

При передвижении на автомобиле не следует пытаться преодолеть снежные заносы, необходимо остановиться, полностью закрыть жалюзи машины, укрыть двигатель со стороны радиатора. Периодически надо выходить из автомобиля, разгребать снег, чтобы не оказаться погребенным под снегом. Двигатель автомобиля необходимо периодически прогревать во избежание размораживания. Ни в коем случае нельзя покидать укрытие – автомобиль: в сильный снегопад (пургу) ориентиры, казалось бы, надежные с первого взгляда, через несколько десятков метров могут быть потеряны.

Гололёдные образования на дорогах затрудняют, а на сильно пересеченной местности и совсем останавливают работу автомобильного транспорта. Передвижения пешеходов затрудняются. Обрушение различных конструкций и предметов под нагрузкой станут реальной опасностью: в этих условиях необходимо избегать находиться в ветхих строениях, под линиями электропередачи и связи, вблизи их опор.

Пожары – наиболее массовое и распространенное бедствие; они происходят почти во всех районах нашей республики. Пожары воздействуют на людей своим сильным психологическим эффектом. Паника среди людей даже при небольших пожарах служит причиной значительных жертв. Зная правила поведения, человек, застигнутый этим бедствием, сможет выстоять, сможет спасти свою жизнь и даже оказать помощь в спасении других людей.

При возникновении пожара в населенном пункте или на производстве в первую очередь надо сообщить об этом в пожарную команду, а затем смело вступить в борьбу с огнем.

В это время некогда вспоминать, где и какие средства расположены, а нужно знать заранее их местонахождение. Каждый участник тушения пожара обязан следить за состоянием строительных конструкций и технологического оборудования на объекте пожара и в случае опасности немедленно предупредить об этом всех участников тушения пожара. Нужно быть внимательным при наличии обвисших или оборванных электрических проводов. Не выяснив, что провод обесточен, следует считать его под напряжением и принимать соответствующие меры безопасности. При самоспасении и спасении других людей в зданиях, охваченных огнем, действовать следует быстро, поскольку основной опасностью являются: высокая температура воздуха; задымление; возможные обрушения строительных конструкций.

В случае, если пожар застал в лесу или степи, не следует принимать поспешных решений. Выходить из зоны любого лесного пожара надо в наветренную сторону, т.е. в сторону огня, используя поляны, просеки, дороги, реки и т.д.

Во время пожаров на людях может загореться одежда. При небольших участках горящей одежды огонь может быть погашен путем его сбивания или накрытия пострадавшего плащом, пальто или другим каким-то полотнищем. Делается это для того, чтобы прекратить приток воздуха к месту горения.

Бури, ураганы и смерчи наносят немалый ущерб людям и народному хозяйству. Каждому человеку следует помнить, что чаще всего в таких условиях люди получают травмы от осколков стекла, шифера, черепицы, от кусков кровельного железа, сорванных дорожных знаков, от предметов, хранящихся на балконах и лоджиях.

Находясь в здании, следует остерегаться ранений осколками разлетающихся стекол. Для этого надо отойти от окон и стать вплотную к простенку. Можно использовать также прочную мебель. Самым безопасным местом во время урагана являются подвалы или внутренние помещения первых этажей зданий. При необходимости выхода на улицу, надо держаться

подальше от зданий и строений, высоких заборов, столбов, деревьев, мачт, опор, проводов. Нельзя приближаться к местам хранения легковоспламеняющихся или сильнодействующих ядовитых веществ.

Если ураган или смерч застал на открытой местности, лучше всего укрыться в канаве, яме, овраге, в любой выемке: лечь на дно углубления и плотно прижаться к земле. Заходить в поврежденные строения опасно: они могут обрушиться под новым напором ветра. Особенно следует остерегаться порванных электропроводов: не исключена вероятность того, что они под током.

В жилых помещениях следует позаботиться об аварийных светильниках: свечах, керосиновых лампах. Радиоприемники и телевизоры держать постоянно включенными, так как могут передаваться необходимые сообщения, распоряжения и разъясняться правила поведения.

2. Характеристика очага ядерного поражения.

2.1 Поражающие факторы при взрыве ядерного боеприпаса и при аварии на радиационно опасном объекте.

Очагом ядерного поражения называется территория, в пределах которой в результате воздействия поражающих факторов ядерного взрыва произошли массовые поражения людей, сельскохозяйственных животных, растений, а также пожары и разрушения зданий и сооружений.

Очаги ядерного поражения возникают при взрывах ядерных боеприпасов и при авариях на радиационно опасных объектах.

Ядерный взрыв сопровождается выделением огромного количества энергии и образованием следующих поражающих факторов: ударной волны; светового излучения; проникающей радиации, возникающей в момент ядерного взрыва в виде потока нейтронов и гамма-лучей; радиоактивного заражения и электромагнитного импульса.

Ударная волна ядерного взрыва представляет собой сферический слой сильно сжатого воздуха, образовавшийся вокруг области взрыва и перемещающийся с большой скоростью от центра взрыва в радиальных направлениях. В момент ядерного взрыва в зоне ядерной реакции за счёт высокой температуры мгновенно появляется сверхвысокое давление порядка 10^5 млрд Па, которое и создаёт ударную волну. Передняя граница сжатого слоя воздуха, характеризующаяся резким увеличением давления, называется фронтом ударной волны.

Ударная волна является основным поражающим фактором ядерного взрыва. На её образование расходуется примерно 50% энергии взрыва. Поражение ударной волной определяется главным образом избыточным давлением, временем его действия и скоростным напором, т.е. динамической нагрузкой потока воздуха, следующего за фронтом волны. Человек от неё получает травмы различной тяжести, здания и сооружения – разрушения.

Под избыточным давлением понимают разность между максимальным

давлением фронта ударной волны и нормальным атмосферным давлением. Его измеряют в системе СИ в ньютонах на квадратный метр или паскалях ($1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па}$). Внесистемная единица избыточного давления – килограмм-сила на квадратный сантиметр (1 кгс/см^2) примерно равна 100 кПа. Время действия ударной волны – несколько секунд, оно зависит от мощности и вида взрыва.

Световое излучение – второй поражающий фактор. На его образование приходится около 35% всей энергии взрыва. Источником светового излучения является светящаяся область, состоящая из раскалённых газообразных продуктов взрыва и воздуха, нагретых до высокой температуры.

Основным параметром, характеризующим световое излучение, является световой импульс, т.е. количество энергии излучения, падающей на единицу площади, перпендикулярной к источнику, за всё время его действия. Величина светового импульса в системе СИ измеряется в джоулях на метр квадратный (Дж/м^2) поверхности. Внесистемной единицей является калория на сантиметр квадратный (кал/см^2). 1 кал/см^2 приблизительно равна 40 кДж/м^2 .

Время действия светового излучения зависит от мощности взрыва и может длиться от десятых долей секунды до десятков секунд.

Под действием светового излучения горючие материалы могут возгораться, а негорючие деформироваться, оплавляться или обугливаться.

У людей и животных световое излучение вызывает ожоги и поражения глаз.

Следующим поражающим фактором является проникающая радиация. Источником проникающей радиации является ядерная цепная реакция и радиоактивный распад продуктов ядерного взрыва. На её образование затрачивается около 5% энергии взрыва. Время действия проникающей радиации не превышает 10–15 секунд с момента взрыва.

Поражающие действия проникающей радиации определяются способностью гамма-лучей и нейтронов ионизировать среду, через которую они проникают. Проходя через организм, гамма-лучи и нейтроны ионизируют атомы и молекулы живой клетки организма. Под влиянием ионизации в организме возникают биологические процессы отмирания и разрушения клеток, в результате чего у поражённых людей и животных развивается специфическое заболевание – лучевая болезнь.

Радиоактивное заражение местности, воды и воздушного пространства образуется в результате выпадения радиоактивных веществ из облака взрыва. На него расходуется около 10% энергии взрыва.

Среди поражающих факторов ядерного взрыва, радиоактивное заражение занимает особое место. Радиоактивному заражению может подвергаться не только район, прилегающий к месту взрыва, но и местность, удалённая от него на многие десятки и даже сотни километров.

Источниками радиоактивных веществ являются: продукты деления ядерного заряда; радиоактивные вещества непрореагировавшей части ядерного заряда; радиоактивные вещества (изотопы), образовавшиеся в грунте под воздействием нейтронов (наведённая радиация).

Радиоактивные вещества оказывают поражающие действия на людей

путём внешнего облучения, а также при попадании на кожу или внутрь организма (через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, раны) вызывают лучевую болезнь или местные радиационные поражения.

Зоны радиоактивного заражения возникают как в очаге, так и за пределами очага ядерного поражения, так как облако взрыва переносится ветром и постепенно рассеивается. По пути движения облака, выпавшие радиоактивные частицы образуют на поверхности земли зону радиоактивного заражения местности – так называемый след радиоактивного облака. Линию, соединяющую точки с наибольшей степенью заражения на следе облака, называют осью следа.

По степени радиоактивного заражения местность в очаге ядерного поражения и на следе радиоактивного облака подразделяются на четыре зоны: "А" – умеренного заражения; "Б" – сильного заражения; "В" – опасного заражения; "Г" – чрезвычайно опасного заражения.

Внешние границы зон заражения на карты, схемы наносятся соответственно синим, зелёным, коричневым и чёрным цветом.

Эти зоны на внешних границах через час после взрыва имеют уровни радиации 8, 80, 240 и 800 рентген в час соответственно.

Электромагнитный импульс (ЭМИ) образуется в момент ядерного взрыва вследствие испускания огромного количества гамма-квантов и нейтронов и возникновения комптоновского эффекта. Сущность последнего состоит в том, что гамма-кванты излучения, сталкивающиеся со свободными или слабосвязанными электронами молекул воздуха, отдают им свою энергию. Электроны, получившие дополнительную энергию, приобретают скорость, близкую к скорости света, и называются комптоновскими электронами, или электронами отдачи. На своём пути они вызывают ионизацию других атомов. Таким образом, вокруг зоны ядерного взрыва образуются радиальные электрические токи, развивается сильное электромагнитное поле и электризация воздуха, действие которых составляет ЭМИ. Величина ЭМИ пропорциональна начальной энергии гамма-излучения и может достигать десятков, сотен и тысяч киловольт на метр длины антенны на площади нескольких тысяч квадратных километров поверхности земли. Длительность действия ЭМИ измеряется наносекундами. Однако поскольку ЭМИ наводит очень высокое напряжение в протяжённых проводниках (антенны, линии передачи и железнодорожные рельсы и т.п.), то прикосновение к ним в момент его действия может привести к поражению электрическим током. Времени ЭМИ бывает достаточно, чтобы вызвать повреждение радиоэлектронной аппаратуры, средств управления и связи. На ЭМИ расходуется около 15% энергии взрыва.

При аварии на радиационно опасном объекте характер поражающих факторов зависит от вида взрыва, выброса или утечки радиоактивных веществ. Принципиально могут присутствовать все вышеперечисленные поражающие факторы, но масштабы и степень их распространения будут другими. По опыту катастрофы на Чернобыльской АЭС основными поражающими факторами являются проникающая радиация и радиоактивное заражение местности на

огромной территории – более 40 тысяч квадратных километров, с плотностью загрязнения от 1 до 100 и более кюри на километр квадратный. Другие факторы оказались менее выраженными, так как взрыв был не ядерный, а тепловой.

2.2 Воздействие поражающих факторов ядерного взрыва на человека и промышленные здания (сооружения).

Границей очага ядерного поражения считается условная линия на местности, где избыточное давление во фронте ударной волны составляет 0.1 кгс/см^2 . Площадь очага поражения можно принять за круг $S = \pi \cdot R^2$, где R – радиус поражения от эпицентра взрыва до названной линии.

Воздействие на человека ударной волны в границах очага поражения выражается в том, что она наносит людям контузии и травмы различной тяжести.

Мгновенное повышенное давление воздуха в момент прихода волны воспринимается человеком как резкий удар, совпадающий с направлением её движения и вызывающий деформации, переломы, повреждение внутренних органов, контузии. Травмы в зависимости от избыточного давления подразделяются на лёгкие, средние, тяжёлые и крайне тяжёлые.

Лёгкие ($0.2\text{--}0.4 \text{ кгс/см}^2$), характеризуются ушибами, вывихами, лёгкой контузией. Работоспособность пострадавших лиц снижается, а часть из них нуждается в госпитализации в течении одной-двух недель.

Средние ($0.4\text{--}0.6 \text{ кгс/см}^2$) — вызывают серьёзные контузии всего организма, повреждение органов слуха, вывихи конечностей, кровотечения из носа и ушей. Стационарное лечение поражённых 1–2 месяца.

Тяжёлые ($0.6\text{--}1 \text{ кгс/см}^2$) — сопровождаются поражением головного мозга, повреждением органов грудной и брюшной полости, переломами конечностей. Необходима срочная медицинская помощь и лечение в течении 2–3 месяцев.

Крайне тяжёлые (более 1 кгс/см^2) — могут привести к летальному исходу, характеризуются глубокими поражениями органов и тканей.

Косвенные поражения (обломками зданий, падением деревьев, битым стеклом) возможны уже при избыточном давлении 0.02 кгс/см^2 , т.е. на большом удалении от взрыва.

От воздействия светового излучения у человека возникают ожоги четырёх степеней тяжести, а также поражение глаз. Ожоги первой степени ($2\text{--}4 \text{ кал/см}^2$) вызывает болезненную красноту и припухлость кожи; второй ($4\text{--}10 \text{ кал/см}^2$) – образование пузырей и третьей ($10\text{--}15 \text{ кал/см}^2$) – омертвление кожных покровов и тканей; четвёртой степени (более 15 кал/см^2) – омертвление и даже обугливание более глубоких слоёв тканей.

Поражения глаз делятся на три вида: временное ослепление — до 5 минут днём и до 30 минут ночью, ожоги глазного дна (при прямом наблюдении взрыва) и ожоги роговицы и век. Ожоги роговицы и глазного дна обычно приводят к ограничению или полной утрате трудоспособности.

При закрытых глазах временное ослепление и ожоги глазного дна исключаются, однако скорость реакции закрытия век отстает от скорости

распространения светового импульса, что и приводит к описанным выше симптомам их поражения.

Защитой от светового излучения могут служить различные предметы, создающие тень, но лучшие результаты достигаются при использовании убежищ, укрытий, защищающих одновременно и от других поражающих факторов.

Для определения возможного характера разрушений и установления объёма спасательных и других неотложных работ (СиДНР) очаг ядерного поражения делится на четыре зоны разрушений и по воздействию светового излучения на три зоны пожаров.

Зона полных разрушений. Избыточное давление ударной волны в ней составляет 0.5 кгс/см^2 и более. В этой зоне полностью разрушаются жилые и промышленные здания, ПРУ и часть убежищ, находящихся вокруг центра взрыва. Большинство же убежищ (до 75%) и подземные коммунально-энергетические сети (до 95%) сохраняются. Образуются сплошные завалы.

Зона сильных разрушений. Избыточное давление ударной волны — от 0.3 до 0.5 кгс/см^2 . В пределах этой зоны здания и сооружения получают сильные разрушения, убежища и коммунально-энергетические сети сохраняются. Большинство ПРУ подвального типа также сохраняются. Образуются сплошные и местные завалы.

Зона средних разрушений. Избыточное давление ударной волны в которой от 0.2 до 0.3 кгс/см^2 . В пределах этой зоны здания получают средние разрушения, а убежища и большая часть укрытий полностью сохраняется. Образуются местные (отдельные) завалы.

Зона слабых разрушений. Избыточное давление от 0.1 до 0.2 кгс/см^2 . В этой зоне здания получают слабые разрушения окон, дверей, перегородок и т.п.

Световое излучение формирует следующие три зоны пожаров:

1-я – зона горения и тления в завалах. Она соответствует зоне полных разрушений.

2-я – зона сплошных пожаров. Она возникает в зонах сильных и средних разрушений. При таких пожарах огнём охвачено более 90% зданий.

3-я – зона отдельных пожаров. Она создаётся в зоне слабых разрушений, в которой возникают локальные пожары. Горит одно или группа зданий.

Проникающая радиация, возникающая в момент ядерного взрыва, оказывает поражающее действие на организм человека и другие биологические объекты путем внешнего облучения. В зависимости от мощности взрыва её радиус достигает 4-х километров. Эффект поражения создается за счет сильного ионизирующего воздействия на весь организм.

В зонах радиоактивного заражения местности лучевые поражения человека могут возникать как от внешнего, так и от внутреннего облучения. Внутреннее облучение происходит вследствие проникновения радиоактивных веществ в организм вместе с вдыхаемым воздухом, пищей и водой. В незначительном количестве радиоактивные вещества могут всасываться в кровь с ожоговых поверхностей кожи и через раны.

Биологический эффект лучевого поражения зависит от дозы облучения, вида излучений, времени воздействия, размеров облучаемой поверхности тела, индивидуальной чувствительности организма. Определяющим фактором из всех перечисленных является доза облучения.

При однократном облучении человека (за время не более 4-х суток) в зависимости от полученной дозы развиваются 4 степени тяжести острой лучевой болезни:

Проникающая радиация на большинство предметов, здания, сооружения воздействия не оказывает. Однако под ее воздействием могут темнеть стекла оптических приборов, выходить из строя радиоэлектронная аппаратура, засвечиваться фотоматериалы.

ЭМИ вследствие его кратковременности воздействия на человека не оказывает, однако промышленные объекты и системы подвержены его влиянию, особенно когда его амплитуды достигают десятков тысяч вольт на метр.

Наведенные токи и напряжения наибольшей величины достигают при наземных и воздушных взрывах. При подземных (подводных) и при высоких воздушных взрывах ЭМИ практически не оказывает поражающего воздействия.

Наиболее подвержены ЭМИ системы связи, сигнализации и управления. Оно может разрушить работу электрических устройств, подключенных к наружным линиям. Наибольшую опасность ЭМИ представляет для полупроводниковых, газоразрядных, вакуумных приборов, а также для конденсаторов и сопротивлений. Воздействие ЭМИ резко снижается при специальных мерах защиты (применение двух проводных экранирующих линий, плавких вставок с автоматическим восстановлением и другие).

Следует иметь в виду, что поражающие факторы в районе ядерного взрыва действуют практически одновременно. Поэтому у людей чаще всего будут наблюдаться комбинированные поражения, которые действуют тяжелее ординарных и излечиваются медленнее. Например, незащищенные люди получают комбинированные поражения средней тяжести (требующие лечения до 2-х месяцев) на удалениях от центра наземного взрыва: 50 кт – 2,1 км; 200 кт – 3,2 км; 500 кт – 4,3 км и 1000 кт – 5,4 км.

3. Характеристика очага химического поражения

3.1 Характеристика сильно-действующих ядовитых веществ

Сильнодействующие ядовитые вещества (СДЯВ) - это токсические химические соединения, применяемые в хозяйственных и военных целях, которые при выбросе или выливе их в окружающую среду могут привести к массовому поражению людей, животных и растений. Выброс СДЯВ происходит при авариях на химически опасных объектах, а также в результате военных конфликтов как оружие массового поражения людей.

Степень опасности или вредности СДЯВ определяется их токсичностью. По степени токсичности они подразделяются на четыре группы:

1. Чрезвычайно токсичные. К ним можно отнести производные мышьяка, ртути, свинец и его соединения, бенз(а)пирен и др.

2. Высоко-токсичные. К ним относятся хлор, синильная кислота, соляная, серная кислота, нитрил акриловой кислоты, окись азота, сурьма металлическая и др.

3. Умеренно токсичные. К данной группе относятся сода кальцинированная, спирт метиловый, сероуглерод, толуол, уксусная кислота и др.

4. Малотоксичные: аммиак, бензин, окись углерода, ацетон и др.

Для определения токсичности СДЯВ используют ряд показателей, которые характеризуют последствия воздействия их на организм. Такими показателями являются: пороговая концентрация вещества, предел переносимости.

Пороговая концентрация вещества - наименьшая его концентрация, которая вызывает ощутимый физиологический эффект (чихание, кашель, слезотечение и др. симптомы). По появлению указанных симптомов можно судить о появлении заражения.

Предел переносимости - это минимальная концентрация, которую человек может выдерживать без поражения органов и тканей. В качестве названного показателя выступает предельно допустимая концентрация (ПДК) или предельно допустимый уровень (ПДУ) химического вещества. Данные показатели регламентируют допустимую степень заражения СДЯВ воздуха рабочей зоны и используются в интересах требований безопасности на производстве. ПДК вредных веществ в рабочей зоне - это такие их концентрации, которые при ежедневной 8-ми часовой работе или другой продолжительности, но не более 40 часов в неделю, в течение всего рабочего стажа не вызывают заболеваний или отклонений в состоянии здоровья. В настоящее время разработаны и приняты ПДК на более чем 700 видов вредных веществ. Единицей измерения ПДК является мг/м³.

Обобщённой характеристикой токсичности СДЯВ является токсическая доза (D_T), которая определяется как произведение:

$$D_T = c * t$$

где: c - средняя концентрация отравляющего вещества, г/м³;

t - время воздействия на организм, мин.

Для оценки степени поражаемости вещества при воздействии его через дыхательные пути применяют следующие токсические дозы, измеряемые в г*мин/м³ или в мг*мин/л:

средняя пороговая токсодоза - такая концентрация, которая при воздействии в течение минуты вызывает начальные симптомы поражения у 50% лиц, подвергшихся воздействию данного вещества;

средняя токсодоза - доза, выводящая из строя 50% лиц, подвергшихся данному воздействию;

средняя смертельная токсодоза - вызывает смертельный исход у 75% поражённых, подвергшихся воздействию данного вещества.

Аналогичные токсодозы применяют при оценке токсичности химического вещества, воздействующего на организм человека через кожные покровы. Они измеряются количеством вещества, приходящегося на единицу поверхности тела ($\text{мг}/\text{см}^2$, $\text{мг}/\text{м}^2$) или на единицу его массы ($\text{мг}/\text{кг}$).

По физиологическому воздействию СДЯВ подразделяются на следующие группы:

1. Раздражающие - поражают слизистые оболочки дыхательного тракта, глаз, полости рта и др.: хлор, аммиак, кислоты, щёлочи, сернистые соединения.

2. Удушающие - вызывают затруднение дыхания за счёт вытеснения, разбавления кислорода воздуха или нарушают процесс усвоения кислорода, поступающего в дыхательные пути: окись углерода, сероводород, азот, метан и др.

3. Соматические яды - вызывают нарушение функции внутренних паренхиматозных органов, нервной, кровеносной системы: ртуть, марганец, мышьяк, олово, свинец, спирты, эфиры, синильная кислота и др.

4. Летучие наркотики - вызывают наркотическое действие вследствие поражения центральной нервной системы: углеводороды, ацетилен, азот, дихлорэтан и др.

По степени стойкости СДЯВ подразделяются на стойкие и нестойкие. Под стойкостью следует понимать способность вещества сохранять свои поражающие свойства в воздухе или на местности в течение определённого времени. Стойкость зависит от физико-химических свойств вещества, а также состояния окружающей среды - рельефа местности, метеорологических условий, состояния атмосферы в приземном слое. У поверхности земли выделяют три состояния атмосферы:

Инверсия - устойчивое состояние, характеризующееся отсутствием выраженных восходящих потоков воздуха, температура почвы в этом состоянии ниже температуры воздуха.

Конвекция - неустойчивое состояние воздушной среды, при котором отмечаются восходящие потоки воздуха, когда температура почвы выше температуры воздуха. При конвекции происходит сильное рассеивание СДЯВ с формированием большой глубины зоны химического заражения.

Изотермия - состояние с незначительным перемещением воздушных потоков, когда температура почвы близка к температуре воздуха. Изотермия и инверсия способствуют сохранению высоких концентраций СДЯВ в приземном слое воздуха, медленному распространению заражённого воздуха на большие расстояния.

3.2 Отравляющие химические вещества как оружие массового поражения

На протяжении XX столетия человечество было обеспокоено возможностью использования химического оружия с целью массового

поражения людей. Однако это не помешало воюющим сторонам использовать его в Первой мировой войне.

Во второй половине XX века отмечается тенденция к полному запрещению не только применения химического оружия, но и его разработки, производства и накопления. Вместе с тем, в последние десятилетия появились сведения об ужасающих последствиях химических аварий (в том числе и террористического характера) в регионах, где оно хранится.

В соответствии с Международной конвенцией «О запрещении, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении», заключённой 13 января 1993г. Россия должна уничтожить имеющиеся у неё фосфорорганические вещества к 2005г. Однако до сих пор ведутся только дискуссии по этому вопросу. Население не желает иметь рядом ни заводов по уничтожению химических веществ, ни складов, на которых оно хранится. Поэтому проблема химического оружия остаётся.

Основой химического оружия являются отравляющие вещества (ОВ), представляющие собой токсичные химические соединения, которыми снаряжаются химические боеприпасы. Данное оружие предназначено для поражения незащищённых людей, животных, заражения воздуха, окружающих предметов, продовольствия. Токсичность ОВ весьма высока, летальные дозы могут поступать в организм человека в течение нескольких секунд, т.е. до применения средств индивидуальной защиты. Особенностью ОВ является также их высокая стойкость. В состоянии паров, аэрозолей ОВ способны распространяться на большие расстояния, сохраняя свои поражающие свойства.

Современные отравляющие вещества по характеру поражающего действия можно разделить на следующие группы:

1. Отравляющие вещества нервно-паралитического действия, представляющие собой высокотоксические фосфорорганические соединения: зарин, зоман, Ви-икс. Попадая в организм, фосфорсодержащие соединения угнетают ферменты, передающие нервные импульсы на мышечные волокна сердца, сосудов, дыхательного аппарата. Тяжёлые поражения указанными ядами характеризуются затруднением дыхания, спазмами в желудке и кишечнике, судорогами, параличом дыхания.

2. Отравляющие вещества общедовитого действия, включающие в себя быстродействующие летучие соединения, которые вызывают паралич дыхательного центра и сердца. Наиболее токсичными представителями этой группы являются синильная кислота и хлорциан.

3. Отравляющие вещества удушающего действия, которые вызывают острое поражение верхних дыхательных путей и лёгочной ткани. В результате развивается отёк лёгких, асфиксия. К ним относятся фосген и дифосген.

4. Отравляющие вещества кожно-нарывного действия, которые легко проникают через кожу и слизистые оболочки в кровь, лимфу, вызывая общее отравление человека или животного. В местах контакта отравляющего вещества с кожными покровами образуются отёки, пузыри, язвы, которые затем инфицируются, долго не заживают. Типичным представителем этих веществ является иприт.

5. Отравляющие вещества психогенного действия - это группа ОВ, вызывающих временные психозы, которые развиваются в результате нарушения химической регуляции в центральной нервной системе. Это вещества типа Би-Зет «ЛСД» и др.

3.3 Формирование зоны химического заражения

В результате аварий или военных конфликтов на местности образуются зоны химического заражения и очаги химического поражения. Зона химического заражения представляет собой территорию, над которой распространилось облако с отравляющими (ядовитыми) веществами или рассеяны пары этих веществ с поражающими концентрациями. Границы зоны определяются значениями пороговых токсодоз СДЯВ или ОВ, т.е. такими концентрациями этих веществ, которые вызывают начальные симптомы поражения.

Очаг химического поражения - это территория, участок зоны химического заражения, в пределах которых произошло массовое поражение людей, сельскохозяйственных животных, растений. В зависимости от количества вылившегося СДЯВ, масштаба применения химического оружия формируются различных размеров зоны заражения, в которых могут быть один или несколько очагов поражения.

Зоны заражения характеризуются видами СДЯВ или ОВ, степенью заражённости воздушной среды, их размерами по отношению к объектам народного хозяйства. Параметры зоны заражения: это глубина, ширина, площади очагов химического поражения в зоне химического заражения, т.е. площади населённых пунктов, попавших в зону заражения. Очаг поражения определяется видом СДЯВ, их количеством, вертикальной устойчивостью приземных слоёв атмосферы, характером растительности, рельефом местности, температурой окружающей среды. Так при повышении температуры воздуха и почвы испарение СДЯВ увеличивается, а продолжительность их действия уменьшается. При сильном ветре облако быстрее рассеивается, и наоборот, при слабом ветре (до 4 м/с) и при отсутствии восходящих потоков воздуха химическое облако медленнее распространяется по ветру, сохраняя поражающие свойства длительное время на значительной глубине. Заражённый воздух застаивается в кварталах густой застройки города, в горах, в лесу, кустарниках, оврагах. В соответствии с отмеченными особенностями проводится оценка и прогнозирование химической обстановки на объектах. Оценка химической обстановки включает определение параметров зоны заражения (глубина, ширина, площадь), определение времени подхода заражённого воздуха к объекту, определение продолжительности поражающего действия СДЯВ и оценку возможных санитарных потерь в очаге поражения.

4. Характеристика очага бактериологического (биологического) поражения

4.1 Краткая характеристика биологических очагов

Бактериологическое (биологическое) заражение окружающей среды может произойти:

при нарушении условий транспортировки, хранения, технологии обработки продуктов питания, фуража, в результате чего может наступить массовое отравление людей, животных;

в результате занесения возбудителей инфекционных заболеваний из других стран, регионов, неблагополучных в эпидемическом отношении, что приводит к заражению водоемов, почв или вспышкам инфекционных заболеваний у людей;

при применении противником бактериологического (биологического) оружия в результате военных конфликтов.

При указанных условиях могут формироваться зоны биологического заражения и очаги биологического поражения. Зоной биологического заражения считается территория, подвергшаяся заражению возбудителями инфекционных заболеваний или продуктами их жизнедеятельности (токсинами) в опасных для населения пределах. Зона заражения характеризуется видами возбудителя или токсического вещества, размерами территории, подвергшейся заражению, временем возникновения опасной ситуации в зоне заражения, степенью опасности зараженной местности для людей, сельскохозяйственных животных.

Очагом биологического (бактериологического) поражения называется территория, на которой в результате воздействия биологических факторов (возбудителей инфекционных заболеваний, продуктов их жизнедеятельности) произошло массовое поражение людей, сельскохозяйственных животных, растений. Очаги поражения, как правило, формируются в зоне бактериологического заражения. Однако они могут возникать отдельно, в результате распространения возбудителей инфекционных заболеваний и за зоной заражения.

Очаг бактериологического поражения характеризуется видом применяемых бактериологических средств, количеством их, численностью пораженных людей, животных, растений, продолжительностью действия поражающих факторов. Границы очага устанавливают формирования медицинской службы гражданской обороны, а также ветеринарные, зоотехнические службы защиты животных и растений. Объектами заражения в очаге могут быть люди, животные, растения, почва, воздушный бассейн, вода, жилье, производственные постройки, другие предметы внешней окружающей среды. Очаги бактериологического заражения могут занимать огромные территории – десятки и сотни тысяч км². Особенно опасно воздушное аэрозольное рассеивание бактерий, токсинов, которое ведет к поражению огромного числа людей в короткие временные интервалы.

Источниками биологического заражения являются бактерии, вирусы, риккетсии, грибки, токсины. Особо опасными являются возбудители чумы, сибирской язвы, туляремии, холеры, натуральной оспы, сыпного тифа и др. Опасными токсинами являются яд, вырабатываемый палочкой ботулизма – ботулотоксин, яд моллюсков – сакситоксин, яд морской змеи – рицин и др. В настоящее время созданы с помощью генной инженерии типы некоторых возбудителей с измененной структурой хромосом, которые обладают высокой активностью, лекарственной устойчивостью и используются для военных целей.

4.2 Характеристика некоторых очагов особо опасных инфекций

Чума – острое инфекционное заболевание людей и животных. Чаще у человека развивается легочная форма чумы в результате попадания в организм микроба чумы. Болезнь протекает тяжело, с ознобом, высокой температурой, сильным кашлем, в результате которого с мокротой в окружающую среду выделяется огромное количество микробов. Без лечения у больного наступает потеря сознания и смерть.

Холера – острое инфекционное заболевание, которое вызывает особый микроб – холерный вибрион. Поражается желудочно-кишечный тракт. Признаки заболевания – понос, рвота, судороги. Люди погибают от быстрого истощения. Выделяемые с испражнениями холерные вибрионы интенсивно, в опасных концентрациях заражают окружающую среду, в результате чего формируется очаг биологического поражения.

Сибирская язва – острое инфекционное заболевание, поражающее не только людей, но и животных. Палочка сибирской язвы проникает в организм через дыхательные пути, пищеварительный тракт или раневые повреждения кожи. Соответственно бывают следующие формы чумы: легочная, кишечная, кожная. Признаки заболевания – высокая температура, понос, кашель, сильная слабость. Споры палочки сибирской язвы очень устойчивы в окружающей среде, длительное время сохраняются в воде, почве, продуктах убоя скота, шерсти. Это свидетельствует о стойкости в целом данного очага.

Ботулизм – тяжелое заболевание, которое вызывается ботулитическим токсином, выделяемым палочкой ботулизма. Для отравления человека по данным специалистов, достаточно всего $1,2 \cdot 10^{-7}$ г кристаллического токсина. Токсин поражает центральную нервную систему, нервный аппарат сердца. Симптомы поражения – расстройство зрения, паралич мышц языка, гортани, мышц лица, нарушение сердечного ритма, вплоть до остановки сердца. Яд ботулизма является высокотоксичным биологическим оружием. Смертность пораженных – 80 и более процентов.

4.3 Организация помощи пострадавшим в очагах биологического поражения

Помощь в очагах организуется с учетом особенностей бактериологических очагов. Этими особенностями являются:

Во-первых - большие территории бактериологического заражения – десятки, сотни тысяч км². Так, если 15 т аммиака может сформировать химическое облако площадью до 30 км², то это же количество биологического оружия может вызвать заражения среды площадью 100000 км². Эпидемии инфекционных заболеваний нередко охватывают целые страны. Если инфекция распространилась на ряд стран, то такую эпидемию называют – пандемией.

Вторая особенность – наличие скрытого (латентного) периода от начала поражения людей до проявления поражающего фактора. За этот период происходит массовое инфицирование населения, что проявляется острыми вспышками заболеваний – наступает «эпидемический взрыв». При этом заражение может возникнуть до эвакуации людей, во время эвакуации и после нее. Каждый раз условия организации помощи будут разные.

Третья особенность очага – большая продолжительность действия возбудителя, способствующая передаче инфекции от больного к здоровому.

Четвертая особенность – длительное сохранение возбудителей в окружающей среде, высокая их устойчивость к воздействию внешних факторов.

Отмечается этапное развитие биологического очага. В первые часы формирования очага опасным является зараженный воздух, далее опасными будут продукты питания, вода и, наконец, последним источником являются заболевшие люди.

Формами бактериологического очага могут быть эпидемии (пандемии), эпизоотии, эпифитопии.

Эпидемия – массовое заболевание людей, вызванное особо опасными инфекциями или возбудителями неясной этиологии.

Эпизоотия – инфекционное заболевание животных и птиц, разной этиологии, сопровождающееся массовым их падежом.

Эпифитопия – массовое заболевание растений, сельскохозяйственных угодий.

Для ликвидации бактериологического очага, организации оказания медицинской помощи пострадавшим, для предотвращения распространения инфекций в очаге и в зоне заражения вводится режим карантина или обсервации.

Карантин – это система противоэпидемических и режимно ограничительных мероприятий, направленных на полную изоляцию всего очага поражения, ликвидацию в нем инфекционных заболеваний и источников возбудителей. Карантин устанавливается решением органов республики (ГО, МЧС, Минздрав) при выявлении особо опасных инфекций или появлении массовых инфекционных заболеваний контагиозного характера. На внешних границах зоны карантина устанавливается вооруженная охрана, организуется комендантская служба и патрулирование, регулируется движение. Запрещается выезд и въезд людей, вывод (вывоз) животных и имущества без разрешения специальных формирований гражданской обороны и министерства по чрезвычайным ситуациям.

Объекты, оказавшиеся в зоне карантина, переходят на особый режим работы со строгим выполнением противоэпидемических мероприятий. Контакт между работниками всех звеньев обслуживания сокращается до минимума. В зоне заражения прекращается работа всех учебных заведений, запрещается проведение зрелищных мероприятий, работа рынков и базаров.

В очаге бактериологического заражения проводятся следующие мероприятия:

- организуется бактериологическая разведка по выявлению источника, типа возбудителя, определению границ очага;

- проводится изоляция заболевших людей и животных, интенсивное их лечение, осуществляется утилизация трупов животных;

- предпринимаются меры по созданию невосприимчивости людей к воздействию возбудителя (иммунизация, прививки и др.);

- проводится обеззараживание продуктов питания, кормов, а также дезинфекция (текущая, заключительная, профилактическая) в очагах заражения, а также в местах большого скопления людей;

- ликвидируются источники - носители инфекционного начала путем проведения дезинсекции (уничтожение насекомых), дератизации (уничтожение грызунов).

Перечисленные мероприятия проводят соответствующие медицинские службы, медицинские службы гражданской обороны, ветеринарные службы регионов, которых постигло бедствие, специализированные службы МЧС.

В тех случаях, когда установленный вид возбудителя не относится к особо опасным и нет угрозы распространения массовых заболеваний, вместо карантина вводится обсервация.

Обсервация предусматривает проведение в очаге поражения ряда изоляционно-ограничительных и лечебно-профилактических мероприятий, направленных на предупреждение распространения инфекционных заболеваний. Режимные мероприятия в зоне обсервации включают максимальное ограничение въезда и выезда людей, вывоза из очага имущества без предварительной санитарной обработки, усиление медицинского контроля за питанием и водоснабжением, ограничение передвижения людей на территории очага.

Сроки карантина и обсервации устанавливаются исходя из длительности инкубационного периода заболевания. Сроки оканчиваются с момента окончания инкубационного периода после госпитализации последнего больного и проведения заключительной дезинфекции. Карантин или обсервацию устанавливает начальник гражданской обороны области или республики.

4.4 Очаги комбинированного поражения

Под очагом комбинированного поражения (ОКП) следует понимать территорию, в пределах которой произошло массовое поражение людей, животных, растений, а также повреждение (разрушение) зданий и сооружений в

результате воздействия двух и более поражающих факторов. ОКП могут возникать в результате одновременного или последовательного воздействия двух и более видов оружия массового поражения – химического, биологического, ядерного. При определенных условиях, на конкретных территориях ОКП могут появляться при воздействии только ядерного оружия. Это обусловлено возникновением вторичных очагов от воздействия поражающих факторов ядерного взрыва – термических, химических, бактериологических.

В очагах комбинированного поражения население получает комбинированные поражения: механические травмы, ожоги, отравления, радиационные поражения и др. Это усложняет в целом обстановку, отягчает последствия с точки зрения санитарных потерь, затрудняет ведение спасательных работ, требует привлечения дополнительных специфических средств для ликвидации этих очагов.

5. Государственная структура управления действиями по защите населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях

Для защиты населения, объектов народного хозяйства и окружающей среды в чрезвычайных ситуациях требуются усилия многих государственных структур. Поэтому в целях этой защиты в Республике Беларусь (РБ) создана единая государственная система по предупреждению действиям в чрезвычайных ситуациях (ГСЧС). Она функционирует под управлением Совета Безопасности Республики Беларусь во главе с Президентом республики, определяющим политику в области безопасности страны.

Основа ГСЧС заложена Постановлением Совета Министров РБ № 95 от 24.02.1993 г. о создании республиканской системы по предупреждению и действиям в чрезвычайных ситуациях. В настоящее время в состав ГСЧС входят: комиссии по чрезвычайным ситуациям (правительственная, ведомственные, областные, городские, районные); Министерство по чрезвычайным ситуациям; Министерство внутренних дел, Министерство Обороны, Министерство здравоохранения, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Координацию деятельности всех частей ГСЧС осуществляет Совет Министров через Правительственную комиссию по ЧС. Её возглавляет вице-премьер, у которого два заместителя: министр внутренних дел и министр по ЧС. Правительственная комиссия руководит ликвидацией последствий крупнейших катастроф (на АЭС, при крушениях поездов и т.д.). Комиссии по ЧС областей, городов, районов проводят мероприятия по предупреждению ЧС, а в случае их возникновения привлекают для ликвидации последствий ЧС необходимые силы и средства подведомственных территорий, материально-технические ресурсы, сети информации и связи. В повседневной практике комиссии по ЧС (КЧС) взаимодействуют со штабами ГО соответствующих уровней. Городские и районные комиссии по ЧС создаются только на время ликвидации этой ситуации.

Министерство по чрезвычайным ситуациям основные усилия направляет на мониторинг природной среды, прогнозирование ЧС, на обеспечение устойчивости работы объектов и отраслей экономики в экстремальных ситуациях и т.д.

Основу сил наблюдения и контроля за состоянием окружающей среды и потенциально опасными объектами составляют комитеты по МЧС (гидрометеорологии, проматомнадзора), службы Министерств природных ресурсов и охраны окружающей среды и здравоохранения. Главные силы и средства ликвидации последствий ЧС входят в состав гражданской обороны, организационно подчиненной Министерству внутренних дел.

Основные задачи ГСЧС:

контроль за состоянием природной среды и потенциально опасных объектов;

проведение комплекса мероприятий по предупреждению ЧС;

оповещение населения, органов власти и управления о ЧС;

организация защиты населения в ЧС;

проведение комплекса мероприятий по обеспечению устойчивости работы объектов и систем жизнеобеспечения населения;

подготовка сил и средств, проведение спасательных и других неотложных работ по ликвидации последствий ЧС;

координация действий различных органов, сил, министерств и ведомств в ЧС.

5.1 Организационная структура и задачи гражданской обороны

Гражданская оборона является государственной системой, обеспечивающей планирование, организацию и исполнение комплекса специальных мероприятий по защите населения и объектов народного хозяйства в ЧС мирного и военного времени.

Гражданская оборона представляет собой совокупность специально созданных органов управления, служб и сил, осуществляющих деятельность по обеспечению безопасности населения РБ при возникновении различных ЧС в мирное время, а также по заблаговременной подготовке к действиям в военное время.

Основными задачами гражданской обороны являются:

защита населения от последствий ЧС различного характера в мирное время и применения средств поражения в военное время;

повышение устойчивости работы объектов народного хозяйства (ОНХ) в условиях ЧС мирного и военного времени;

организация и проведение спасательных и других неотложных работ в очагах поражения;

обучение различных категорий населения способам защиты от ЧС.

Гражданская оборона организуется в соответствии со следующими основными принципами:

а) территориально производственный принцип. Это значит, ГО формируется в границах административного деления республики (ГО республики, области, города, района), а реализация через производственные объединения, учреждения, ведомства, учебные заведения и т.д.;

б) общенародность. ГО опирается на материальные и людские резервы всей республики;

в) тесное взаимодействие между органами ГО и органами Министерства обороны республики.

Для руководства подготовкой и проведением мероприятий гражданской обороны создаются штатные органы управления: в областях, категорированных городах и городских районах, сельских районах – управления, отделы, секторы по ГО соответственно при главах исполнительных органов власти, а на предприятиях, в учреждениях – отделы или штабы ГО.

Опираясь на изложенные принципы, гражданская оборона Республики Беларусь имеет следующую организационную структуру.

Общее руководство гражданской обороной осуществляет начальник гражданской обороны республики, которым является Премьер-министр Республики Беларусь. Органом, посредством которого начальник гражданской обороны Республики Беларусь осуществляет управление гражданской обороной республики, является Штаб гражданской обороны Республики Беларусь.

Заместителем Начальника гражданской обороны Республики Беларусь является Министр внутренних дел Республики Беларусь – начальник Штаба гражданской обороны Республики Беларусь. Функции этого Штаба выполняет Главное управление Командующего внутренними войсками Министерства внутренних дел Республики Беларусь.

Повседневное руководство гражданской обороной Республики Беларусь осуществляет Начальник штаба гражданской обороны Республики Беларусь через Штаб гражданской обороны Республики Беларусь. Руководство гражданской обороной в областях, городах, районах осуществляют соответствующие исполнительные и распорядительные органы, а на территории поселковых и сельских Советов – соответствующие местные Советы депутатов. Начальниками гражданской обороны областей, городов, районов, являются руководители соответствующих исполнительных и распорядительных органов, а на территории поселковых и сельских Советов – председатели соответствующих Советов депутатов. Начальниками ГО промышленных предприятий, учреждений, учебных заведений являются их руководители.

Весь комплекс мероприятий по защите рабочих и служащих, членов их семей, по обеспечению устойчивости работы в чрезвычайных ситуациях, по мобилизации сил и средств, а также организации и проведению спасательных работ выполняется на объектах народного хозяйства.

К объектам народного хозяйства относят самостоятельные организации, такие как: заводы, фабрики, колхозы, совхозы, учебные заведения и др. Начальником ГО ОНХ является руководитель объекта. Он подчиняется

вышестоящим начальникам гражданской обороны по месту расположения объекта и по производственному признаку. Начальник ГО объекта несет ответственность за организацию и состояние гражданской обороны.

На крупных объектах назначаются заместители начальника ГО: по эвакуации, инженерно-технической части, материально-техническому снабжению. На всех объектах создаются штабы ГО. На крупных предприятиях штабы комплектуются освобожденными работниками, на небольших – лицами, не освобожденными от своих обязанностей.

В состав штаба входят: начальник штаба, его заместители (помощники) по оперативным вопросам, боевой подготовке и другие должностные лица. Штаб ГО объекта является органом управления начальника гражданской обороны объекта. На него возлагается вся организационная работа.

Для организации и проведения специальных мероприятий ГО на базе имеющихся отделов ОНХ создаются службы гражданской обороны для выполнения специальных мероприятий. Начальником службы является руководитель подразделения объекта. Такими службами могут быть: служба оповещения и связи, медицинская служба, служба охраны общественного порядка, противопожарная служба и др.

5.2 Силы гражданской обороны

Силы гражданской обороны состоят из невоенизированных формирований, воинских частей ГО, а также сил и средств, выделяемых Министерством обороны, внутренних дел и здравоохранения в порядке взаимодействия.

Невоенизированные формирования ГО – это группы людей на ОНХ, сформированные согласно штату, оснащенные специальной техникой и имуществом и предназначенные для выполнения определенных мероприятий гражданской обороны.

На промышленных предприятиях такие формирования создаются в каждой рабочей смене из рабочих и служащих цехов, участков, отделов и других структурных подразделений. В совхозах и колхозах – из рабочих, служащих и колхозников.

Формирования ГО классифицируются по следующим признакам: по предназначению, подчиненности и готовности. По назначению они подразделяются на формирования общего назначения, специального назначения и специализированные.

Формирования общего назначения предназначаются для ведения спасательных и других работ (СидНР) в районах аварий, катастроф, стихийных бедствий, то есть в очагах поражения. К ним относятся сводные спасательные отряды (команды, группы).

Формирования специального назначения – это те формирования, которые создаются на базе служб (отделов) гражданской обороны объекта. Они предназначаются для выполнения специальных мероприятий при ведении СидНР, а также для усиления и обеспечения действий формирований общего назначения.

Специализированные формирования создаются на объектах повышенной опасности с целью ведения СидНР на таких объектах. Комплекуются такие формирования работниками, не связанными с процессом производства. На объектах, где имеются специальные формирования, другие формирования могут не создаваться.

По подчиненности формирования разделяются на объектовые и территориальные.

Объектовые формирования предназначаются для решения задач на своих объектах. Они подчиняются начальнику ГО объекта, но иногда могут привлекаться для ведения СидНР на других объектах с учетом сложившейся обстановки.

Территориальные формирования создаются за счет сил и средств ОНХ, независимо от их ведомственной принадлежности. Они предназначаются для ведения СидНР самостоятельно или совместно с объектовыми формированиями на территории города, района, области, республики. Укомплектование этих формирований личным составом, оснащение техникой и имуществом производится с таким расчетом, чтобы отрыв людей, техники от производства не привел к нарушению производственной деятельности объекта. Привлечение этих формирований для выполнения задач ГО допускается на срок до 1 месяца. Это время может быть продлено в исключительных случаях решением Совета Министров Республики Беларусь.

По готовности формирования могут находиться в повседневной и повышенной готовности. Первые приводятся в готовность в течение 24 часов, вторые – до 6 часов.

Невоенизированные формирования приводятся в готовность в случае возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий, а также в угрожающий период военного конфликта. Приведение формирования в готовность осуществляется в соответствии с планом, который разрабатывается командиром формирования заблаговременно. Реализация плана осуществляется после получения командиром сигнала вызова. Получив сигнал вызова, командир оповещает и собирает личный состав формирования в соответствии со схемой оповещения.

После прибытия личного состава производится проверка наличия людей, отдается распоряжение на получение табельного имущества и техники; приведение техники в готовность к работе, ее рассредоточение и укрытие в месте сбора. Командир формирования докладывает начальнику ГО объекта о готовности к выполнению предстоящих задач. В зависимости от сложившейся обстановки формирование может вводиться сразу в очаг поражения или выводиться в загородную зону. Первый вариант может иметь место при авариях, катастрофах, стихийных бедствиях, а второй – в случае военного конфликта.

Войска гражданской обороны – это мобильная часть сил, которая выполняет наиболее сложные и трудоемкие задачи на объектах. Они включают мобильные военизированные бригады, механизированные полки и батальоны, батальоны специальной защиты. В порядке взаимодействия привлекаются силы

и средства Министерства обороны Республики Беларусь, пожарные команды (группы) от МЧС и бригады скорой медицинской помощи от Министерства здравоохранения. Порядок использования сил гражданской обороны устанавливается Советом Министров Республики Беларусь или исполнительными комитетами области, города, района.

5.3 Система оповещения гражданской обороны

Успешная защита населения во время аварий, катастроф, стихийных бедствий или военных конфликтов во многом зависит от поведения населения, умелых и правильных действий его по сигналам оповещения. Ответственность за организацию оповещения населения возлагается на штабы гражданской обороны объектов и районов. Оповещение организуется во всех звеньях управления с целью своевременного приведения в готовность ГО, предупреждения органов управления населения о наступающей ЧС. Система оповещения представляет собой организационно-техническое объединение сил и специальных технических средств, предназначенных для передачи сигналов и информации населению и подразделениям ГО.

Важнейшим требованием, предъявляемым к системе оповещения, является минимально короткое время передачи и приема сигналов и распоряжений. Оно обеспечивается за счет автоматизации средств оповещения. Автоматизированная система централизованного оповещения (АСЦО) ГО позволяет доводить сигналы до штабов ГО, циркулярно оповещать должностных лиц ГО по служебным и квартирным телефонам; передавать сигнал «Внимание всем!», а также оповещать население по сетям радио-, теле- и проводного вещания.

Включенные сирены, производственные гудки, различные другие сигнальные средства означают передачу предупредительного сигнала «ВНИМАНИЕ ВСЕМ!». По этому сигналу каждый гражданин обязан включить телевизор, радиотрансляционный динамик или радиоприёмник и прослушать экстренное сообщение (информацию) штаба ГО. Одновременно централизованно это же сообщение передается по сети уличных радиотрансляционных точек местными радиовещательными станциями. Примерный вариант текста сообщения штаба ГО населению при аварии на химически опасном объекте следующий:

«ВНИМАНИЕ! Говорит штаб ГО. Граждане! Произошла авария на заводе холодильников с выливом СДЯВ-аммиака. Облако зараженного воздуха распространяется в направлении микрорайона «Веснянка». Населению, проживающему по таким-то улицам, немедленно покинуть жилые дома, производственные здания и выйти в такой-то район или укрыться в защитных сооружениях (если они имеются). Населению, проживающему по таким-то улицам, произвести дополнительную герметизацию своих квартир. В дальнейшем действовать в соответствии с указаниями штаба ГО».

В военное время в текстах сообщения штаба ГО населению используются сигналы гражданской обороны: «Воздушная тревога», «Отбой воздушной

тревоги», «Химическая тревога» и «Радиационная опасность».

Примерный вариант сообщения штаба ГО населению при воздушной тревоги следующий:

«ВНИМАНИЕ! Говорит штаб ГО. Граждане! Воздушная тревога!».

Если опасность миновала, то подается сигнал «Отбой воздушной тревоги».

По этому сигналу население покидает защитные сооружения или другие места укрытий и действует в соответствии с обстановкой.

По сигналу «Химическая тревога» население надевает противогазы и при наличии защитных сооружений укрывается в них. При отсутствии защитных сооружений целесообразно укрываться в закрытых помещениях, надев противогазы.

По сигналу «Радиационная опасность» средства защиты органов дыхания приводятся в готовность. На время выпадения радиоактивных осадков население укрывается в защитных сооружениях или помещениях. При этом используемые помещения дополнительно герметизируются.

Действия личного состава невоенизированных формирований по сигналам гражданской обороны зависят от его местонахождения и условий обстановки. Если личный состав формирования не работает (нерабочее время), то действует так же, как и все население. После отбоя сигналов военного времени и выхода из защитного сооружения население, входящее в состав невоенизированных формирований, обязано установить связь со своим командиром формирования, а в случае отсутствия связи убыть на пункт сбора своего формирования. Если же сигнал ГО подан во время или после приведения формирования в готовность, то личный состав действует в соответствии с обстановкой и указаниями своего командира. Основные действия личного состава формирования под руководством командира сводятся к следующему.

По сигналу «Воздушная тревога» при нахождении на территории ОНХ личный состав укрывает технику, укрывается сам в защитных сооружениях. На марше личный состав укрывается, используя складки местности; в загородной зоне – в противорадиационных и простейших укрытиях. Техника укрывается в складках местности. При проведении СидНР в очаге поражения личный состав укрывается в уцелевших или освободившихся сооружениях.

По сигналу «Химическая тревога» личный состав формирований, расположенный на открытой местности, надевает противогазы и средства защиты кожи. В закрытых помещениях, машинах – только противогазы. Оказавшись в зоне химического заражения, на марше или в загородной зоне, личный состав выходит из нее перпендикулярно направлению ветра.

По сигналу «Радиационная опасность» личный состав приводит в готовность средства защиты органов дыхания и кожи. При необходимости укрывается в защитных сооружениях или производственных помещениях.

Сигналы гражданской обороны могут застать людей в любом месте и в самое неожиданное время. Во всех случаях следует действовать быстро, но спокойно, уверенно и без паники. Строгое соблюдение правил поведения значительно сократит потери населения. Всегда необходимо быть предельно

внимательным и строго выполнять распоряжения и указания органов гражданской обороны.

6. ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

6.1 Принципы обеспечения безопасности и защиты населения

Защита населения в ЧС представляет собой комплекс мероприятий, имеющих цель не допустить неблагоприятного воздействия чрезвычайных ситуаций или максимально ослабить степень их воздействия. Эффективность защиты населения может быть достигнута лишь на основе учета принципов обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях и наилучшего использования всех средств и способов.

Принципы обеспечения безопасности по признаку их реализации условно делятся на три группы: заблаговременная подготовка, дифференцированный подход и комплексность мероприятий.

Заблаговременная подготовка предполагает прежде всего накопление средств защиты (коллективных и индивидуальных) от опасных и вредных факторов и поддержание их в готовности для использования населением, а также подготовку к проведению мероприятий по эвакуации населения из опасных зон.

Дифференцированный подход выражается в том, что характер и объем защитных мероприятий устанавливается в зависимости от вида источников опасных и вредных факторов, а также от местных условий.

Комплексность мероприятий заключается в эффективном применении средств и способов защиты от последствий чрезвычайных ситуаций и их согласованном осуществлении со всеми мероприятиями по обеспечению безопасности в ЧС.

К таким мероприятиям относятся:

- а) обучение населения действиям в ЧС;
- б) организация своевременного оповещения об угрозе возникновения ЧС;
- в) организация и проведение радиационной и химической разведки, а также дозиметрического и химического контроля;
- г) проведение профилактических, противоэпидемических и санитарно-гигиенических мероприятий;
- д) создание запасов материальных средств для проведения спасательных и других неотложных работ;
- е) прогнозирование и оценка возможных последствий ЧС;
- ж) планирование мероприятий по предотвращению или уменьшению вероятности возникновения ЧС, а также по сокращению масштабов и ликвидации их последствий.

Поясним сущность некоторых мероприятий. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций – это метод ориентировочного выявления и оценки обстановки, складывающейся в результате стихийных бедствий, аварий и катастроф. Его сложность заключается в том, что требуется оценить район,

характер и масштабы ЧС в условиях неполной информации, и на этой основе определить характер и объем работ по ликвидации последствий ЧС. В задачу прогнозирования входит также ориентировочное определение времени возникновения ЧС. Это краткосрочный прогноз, по которому принимаются оперативные решения по обеспечению безопасности населения. Он делается на основе обработки статистических данных, наблюдений с искусственных спутников Земли, информации различных наземных станций и т. п. Когда момент ЧС предсказан, реализуются защитные мероприятия, вплоть до ввода чрезвычайного положения, частичной эвакуации населения.

Конечным результатом планирования является составление плана, в котором содержатся выводы из оценки прогнозируемой обстановки, которая может сложиться в результате ЧС, и намечаемые мероприятия по обеспечению безопасности населения при угрозе и возникновении ЧС: порядок оповещения, организация разведки и наблюдения, подготовка сил и средств к проведению спасательных работ, выдача населению средств индивидуальной защиты (СИЗ), организация эвакуации и т. д. Реальность плана проверяется в ходе тренировок и учений. Защита населения организуется и осуществляется на основании следующих основных принципов:

а) мероприятия по защите населения планируются и организуются на всей территории республики по территориально-производственному принципу с учетом социального и экономического развития областей городов, районов и ОНХ;

б) основные мероприятия по защите населения планируются и осуществляются в мирное время;

в) все защитные мероприятия планируются и осуществляются в тесном взаимодействии с мероприятиями, проводимыми Министерством обороны по укреплению оборонного могущества республики.

6.2 Основные способы защиты населения

Основными способами защиты населения в ЧС являются: укрытие в защитных сооружениях; эвакуация населения; использование СИЗ и средств медицинской помощи.

Укрытие населения в защитных сооружениях

Этот способ является наиболее надежным в случае военно-политических конфликтов с применением современных средств поражения, а также в ЧС, сопровождающихся выбросом радиоактивных и химических веществ. Защитные сооружения – это инженерные сооружения, специально предназначенные для защиты населения от физических, химических, биологических опасных и вредных факторов. В зависимости от защитных свойств эти сооружения подразделяются на убежища, противорадиационные укрытия (ПРУ) и простейшие укрытия – открытые и перекрытые щели. Накопление защитных сооружений осуществляется путем строительства их в

ходе выполнения народнохозяйственных планов. При недостатке заблаговременно построенных убежищ будут строиться быстровозводимые убежища из готовых конструкций.

Убежища представляют собой сооружения, обеспечивающие наиболее надежную защиту укрываемых в них людей от воздействия всех поражающих факторов современных средств нападения, а также от обвалов и обломков разрушенных зданий и сооружений при взрывах.

В убежищах люди могут находиться длительное время (даже в заваленных), безопасность их обеспечивается в течение нескольких суток. Надежность защиты достигается за счет прочности ограждающих конструкций и перекрытий, а также за счет создания санитарно-гигиенических условий – герметизации, запаса продовольствия и воды, системы фильтровентиляции, электроснабжения, канализации, отопления.

Убежище должно иметь телефонную связь с пунктом управления объекта народного хозяйства и репродуктор радиотрансляционной сети, а также приборы дозиметрической разведки, средства тушения пожара, запас инструмента и санитарного имущества.

По назначению убежища подразделяются: для защиты населения; для размещения органов управления, а также для размещения лечебных учреждений.

Убежище рассчитывается на определенное количество людей: на одного человека предусматривается не менее 0.5 м^2 площади пола и 1.5 м^3 внутреннего объема. В помещениях оборудуются скамейки для сидения и нары для лежания. По вместимости убежища бывают малые (до 150 мест), средние (от 150 до 450 мест) и большие (более 450 мест).

По месту размещения убежища могут быть отдельно стоящими или встроенными (под жилыми, административными и производственными зданиями). Встроенные убежища имеют запасной и аварийный выходы на не заваливаемой территории, равной половине высоты здания, плюс 3 метра.

Защитные свойства убежищ оцениваются по двум показателям: устойчивости к избыточному давлению во фронте ударной волны и коэффициентом ослабления проникающей радиации. По этим показателям убежища делятся на 5 классов:

Класс убежища	Устойчивость к избыточному давлению (кгс/см)	Коэффициент ослабления ($K_{осл}$)
А-1	5	5000
А-2	3	3000
А-3	2	2000
А-4	1	1000
А-5	0.5	300

Защитные сооружения с более низкими показателями не являются убежищами.

Помещения в убежище подразделяются на основные и вспомогательные. К основным относятся помещения для укрываемого населения, тамбуры, а к вспомогательным – помещения для пункта управления, фильтровентиляционной аппаратуры (ФВА), дизельной электростанции, продуктов питания, медицинская комната и другие.

ФВА обеспечивает снабжение убежища воздухом в 3 режимах: чистой вентиляции, фильтровентиляции и регенерации. В первом режиме воздух очищается от радиоактивной пыли; этот режим применяется в том случае, когда убежище попало в зону радиоактивного заражения, которое будет иметь место при аварии на радиационно опасном объекте или при ядерном взрыве. Во втором режиме воздух очищается от отравляющих веществ и бактериальных средств. Этот режим применяется в случае наличия в воздухе отравляющих веществ и бактериальных средств. Режим регенерации используется в том случае, когда убежище попало в зону пожаров и производить забор воздуха нельзя, так как в нем отсутствует кислород. В этом случае воздух, находящийся в убежище, подается на смеситель и обогащается медицинским кислородом.

Организация обслуживания убежищ возлагается на службу убежищ и укрытий ГО. На каждое убежище выделяется звено обслуживания в составе 7 человек, а в больших убежищах – группа обслуживания. Командир звена или группы является комендантом убежища. Звено обслуживает 3 поста, группа – 4. Посты назначаются: 1) при входе в убежище, 2) по обслуживанию фильтровентиляционного оборудования и дизельной электростанции, 3) по поддержанию общего порядка в убежище.

Убежище занимается и покидается укрываемыми по сигналам оповещения ГО. В целях быстрого и организованного заполнения убежищ в информации оповещения указываются места их расположения и маршруты движения к ним.

Противорадиационные укрытия защищают людей от внешнего радиоактивного излучения, непосредственного попадания на кожу и одежду отравляющих веществ, от заражения радиоактивными веществами при попадании их с радиоактивной пылью в органы дыхания. При соответствующей прочности конструкции ПРУ могут частично защитить от воздействия ударной волны, светового излучения и обломков разрушающихся зданий.

Все ПРУ должны иметь устойчивость к избыточному давлению не менее 0.2 кгс/см^2 . По коэффициенту ослабления проникающей радиации ПРУ делятся на 5 групп: первая и вторая группы имеют $K_{\text{осл}} - 200$, третья и четвертая – 100, пятая – 50. В районе АЭС ПРУ соответствующих групп имеют $K_{\text{осл}} - 1000, 500,$ и $100-200$.

Вместимость ПРУ может быть (в зависимости от площади помещений) 50 человек и более. В нем предусматриваются основные помещения для размещения укрываемых и вспомогательные – вентиляционные, для хранения зараженной одежды, санитарного узла. В основных помещениях оборудуют места для сидения и лежания. ПРУ должно иметь не менее двух входов, расположенных с противоположных сторон укрытия. Занимаются ПРУ населением по сигналу ГО “Радиационная опасность”.

Приспособить под ПРУ имеющиеся заглубленные сооружения или помещения нижних этажей наземных зданий значительно быстрее и дешевле, чем строить новые, так как обычные подвалы в каменных домах ослабляют радиацию до 1000 раз. Приспособление под ПРУ любого пригодного помещения сводится к повышению его защитных свойств, герметизации и устройству вентиляции. При возможности оборудуется освещение, водоснабжение, отопление, радиоприемник.

Простейшие укрытия строятся при недостатке или отсутствии убежищ и ПРУ. Неперекрытые щели в 1.5 – 2.5 раза ослабляют воздействие проникающей радиации; в 2 – 3 раза уменьшают возможность облучения людей в результате радиоактивного заражения местности. В перекрытой щели толщиной 60-70 см защита людей от светового излучения будет полной, от ударной волны увеличится в 2.5 – 3 раза, от радиоактивного излучения – в 200-300 раз при грунтовом перекрытии в 60-70 см. Исключается также попадание на кожу и одежду радиоактивных и отравляющих веществ. Строятся щели вне зон возможных завалов, глубиной 170-180 см, шириной по верху 110-120 см, по дну до 80 см. Длина щели определяется из расчета 0.5-0.6 м на одного человека. Для ослабления поражающего действия ударной волной щель делают зигзагообразной или ломаной. Дина прямого участка не более 15 м, расстояние между щелями – не менее 10 м.

В мирное время допускается использование защитных сооружений в качестве учебных классов, для хранения готовой продукции и т.п. Но в любом случае время готовности защитных сооружений к приёму укрываемых не должно превышать 4-6 часов. Поэтому запрещается занимать их сыпучими материалами, загромождать их входы и выходы, что может резко увеличить время приведения их к готовности. Не допускается использование защитных сооружений в народнохозяйственных целях на радиационно и химически опасных объектах, а также объектах особой важности.

Эвакуация населения

Эвакуация – это организованный вывоз и вывод населения из возможных очагов поражения и опасных зон в загородную зону или другое безопасное место, а также вывоз и размещение в загородной зоне свободной от работы смены рабочих и служащих объектов, продолжающих работу в военное время.

Загородная зона представляет собой территорию, расположенную за пределами зон возможных разрушений в городах. Каждому предприятию, учреждению или учебному заведению города, из которого планируется эвакуация, назначается район размещения в загородной зоне.

Эвакуация во много раз снижает плотность населения в городах, а следовательно, и потери населения в особое время.

Эвакуация населения из крупных городов и населенных пунктов может производиться и в чрезвычайных ситуациях мирного времени: при крупной производственной аварии, разрушении атомного или химического предприятия

в результате стихийного бедствия, сопровождающихся радиоактивным или химическим заражением местности, при крупном наводнении или пожаре.

Эвакуация планируется заблаговременно, а осуществляется при возникновении реальной угрозы населению в конкретной чрезвычайной ситуации, когда другим способом его защитить невозможно. Эвакуация должна проводиться в максимально сжатые сроки.

В плане эвакуации предусматривается:

способ проведения эвакуации (вывоз всеми видами транспорта, пешим порядком или сочетанием того и другого, т. е. комбинированным способом);

намечаемое количество людей для эвакуации, порядок и ее сроки;

места размещения и сроки развертывания эвакуоорганов;

места и порядок размещения людей в безопасной зоне;

материальное обеспечение эвакуации (питание, СИЗ, медицинская помощь, средства связи и т. д.), противорадиационное и противохимическое обеспечение.

Непосредственное осуществление эвакуации производится эвакуоорганами: эвакуационные комиссии (города, района, ОНХ, сельские), сборные эвакуационные пункты (СЭП), пункты посадки (ПП) в местах отправки людей, промежуточные пункты эвакуации (ППЭ) на маршруте, приемные эвакуационные пункты (ПЭП) в местах прибытия и расселения.

Организацией эвакуации занимаются начальники и штабы городов, районов, ОНХ после получения распоряжения на ее проведение.

Население о необходимости эвакуации оповещается через предприятия, учреждения, учебные заведения, милицию, радиотрансляционную сеть и местное телевидение. Получив извещение о начале эвакуации, граждане должны подготовить и взять с собой документы, деньги, необходимые вещи и запас продуктов; явиться на сборный эвакуационный пункт в строго назначенное время. Перед уходом из квартиры необходимо выключить электросвет, газ, воду.

Заблаговременное планирование эвакуации, как и любого другого способа защиты населения, базируется на прогнозировании обстановки штабами ГО, исходя из конкретных условий в которых находится данный пункт или ОНХ, и предыдущего опыта.

Эвакуация населения осуществляется по территориальному производственному принципу. Это значит, что население, не связанное с обслуживанием и производством, эвакуируются по месту жительства через ЖЭС (ЖЭК, домоуправления). Население, занятое в сфере производства и обслуживания, эвакуируется с мест работы.

Получив сигнал об эвакуации, население обязано явиться на свой сборный эвакуопункт (СЭП). Прибывших на СЭП людей регистрируют и организуют колонну для совершения марша по установленному маршруту движения. Численность пеших колонн составляет до 1000 человек. Для удобства управления колонну разбивают на группы по 100 человек. Скорость движения колонны на маршруте 4-5 км/ч, а дистанция между колоннами – до 500 м. Через

каждые 1 – 1.5 часа движения делаются малые привалы продолжительностью 10 - 15 мин, а в начале второй половины суточного перехода – большой привал на 1 – 2 ч. На большом привале организуется прием пищи. Суточный переход заканчивается прибытием эвакуируемых на промежуточный пункт эвакуации. На промежуточном пункте эвакуации производится регистрация прибывшего населения; организуется прием пищи и отдыха эвакуируемых. Заканчивается совершение марша прибытием эвакуируемых на приемный эвакуопункт. На ПЭП производится учет прибывших; размещение их на свободной жилой площади сельского населения, оказание первой медицинской помощи.

При совершении марша организуется медицинская помощь эвакуируемым силами медицинских пунктов на маршруте движения или силами медработников из числа эвакуируемых. Кроме того, организуется радиационная и химическая разведка, наблюдение за наземной и воздушной обстановкой силами и средствами эвакуируемых. Питание эвакуируемого населения организуется через торговые точки общепита.

Для эвакуации населения путем вывоза используются все виды общественного транспорта (автомобильный, железнодорожный, водный), а также транспорт индивидуального пользования. Вывозу из города подлежат: рабочие и служащие объектов, продолжающих работу в особый период; детские дошкольные учреждения; население, которое по состоянию здоровья не может совершать марш в загородную зону, личный состав невоенизированных формирований. Для транспорта в городе назначается сборный эвакуопункт, где производится регистрация транспорта и эвакуируемого населения. Такой пункт организуется обычно вблизи железнодорожных станций, платформ, пристаней, портов и в других местах.

Эвакуированное население привлекается для работы на сельскохозяйственных предприятиях, а также на предприятиях, вывезенных из города и продолжающих работу в загородной зоне.

Снабжение населения продуктами питания и предметами первой необходимости возлагается на службу торговли и питания сельского района. Коммунально-бытовое обслуживание населения в районах размещения возлагается на местные коммунально-бытовые учреждения (мастерские, прачечные, бани и др.).

Медицинское обслуживание населения возлагается на существующую сеть лечебных учреждений – больницы, поликлиники, сельские медпункты и аптеки.

Эвакуация населения в ЧС мирного времени проводится из опасного района в безопасный. При этом расположения такого района заранее не выбираются. На основе опыта ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы следует планировать эвакуацию из зоны радиоактивного загрязнения с соблюдением следующих требований:

а) эвакуацию населения необходимо начинать немедленно, руководствуясь планами ГО радиационно опасных объектах;

б) для перевозки людей и имущества необходимо использовать крытый транспорт;

в) маршруты вывоза людей должны выбираться по местности с наименьшими уровнями радиации;

г) дороги, по которым намечается эвакуация населения, необходимо увлажнять с помощью поливочных машин, чтобы уменьшить запыление людей и передвигающегося транспорта.

д) посадку людей в транспорт необходимо проводить непосредственно из подъездов домов. До прибытия транспорта люди должны находиться в закрытых помещениях.

Использование средств индивидуальной защиты и медицинской помощи

Средства индивидуальной защиты населения предназначены для защиты от попадания внутрь организма, на кожные покровы и одежду радиоактивных, отравляющих веществ и бактериальных средств. По назначению они подразделяются на средства защиты органов дыхания и средства защиты кожи. К первым относятся противогазы фильтрующие (ГП-5, ГП-5М и ГП-4у) для взрослого населения; (ДП-6, ДП-6М, ПДФ-7, ПДФ-Д, ПДФ-Ш) для детей и изолирующие противогазы (ИП-4, ИП-5, ИП-46, ИП-46М), респираторы (Р-2), а также противопыльные тканевые маски (ПТМ-1) и ватно-марлевые повязки. Ко вторым – специальная одежда, резиновая обувь, перчатки, плащи, накидки, обычная одежда, пропитанная спецраствором и др.

По способу изготовления СИЗ подразделяются на средства, которые изготавливаются промышленностью, и средства, изготавливаемые населением из подручных материалов.

Средства индивидуальной защиты могут быть табельные, обеспечение которыми предусматривается нормами (табелями) и нетабельные, предназначенные для обеспечения формирований в дополнение к табельным средствам или в порядке замены их.

При объявлении чрезвычайной ситуации все население должно быть обеспечено средствами индивидуальной защиты. Поэтому штабы ГО принимают меры к накоплению СИЗ промышленного изготовления и подготовке простейших средств. Личный состав формирований, рабочие и служащие получают СИЗ на своих объектах, население – в ЖЭС. Обеспечение предприятий СИЗ осуществляется с базовых складов по заявкам штабов ГО. Порядок обеспечения населения СИЗ определяется планами штабов ГО.

По решению начальника ГО объекта народного хозяйства с повышенной радиационной или химической опасностью СИЗ могут быть выданы заблаговременно личному составу формирований ГО и максимально приближены к рабочим местам рабочих и служащих.

Медицинские средства защиты включают: аптечку индивидуальную АИ-2, индивидуальный противохимический пакет, пакет перевязочный индивидуальный. Они предназначены для профилактики и оказания медицинской помощи населению, пострадавшему в чрезвычайной ситуации.

Аптечка индивидуальная содержит средства, повышающие устойчивость организма к воздействию ионизирующих излучений (радиопротекторы),

токсических веществ (антидоты) и противобактериальные средства, а также противоболевое и противорвотное средства.

Индивидуальный противохимический пакет предназначен для проведения частичной санитарной обработки и дегазации. В комплект пакета входит флакон с дегазирующим раствором и четыре ватно-марлевых тампона.

Пакет перевязочный индивидуальный используется для наложения стерильных повязок. Он состоит из бинта и двух ватно-марлевых подушечек.

Средствами индивидуальной защиты в первую очередь обеспечивается личный состав формирований ГО, а также рабочие и служащие объектов, продолжающих работу в военное время.

Все население, независимо от обеспеченности его противогазами, респираторами, должно иметь простейшие средства защиты органов дыхания и кожи, изготовленные местной промышленностью или самим населением.

СИЗ и медицинские средства защиты закрепляются за рабочими и служащими ОНХ, противогазы заранее подгоняются, все средства проверяются на исправность и надежность защиты и хранятся в специальных пунктах вблизи рабочих мест.

В случае радиоактивного заражения местности в крупных масштабах может проводиться массовая противолучевая защита населения – приём радиопротектора в организм перед облучением. Такая защита применялась после Чернобыльской аварии в форме приема для профилактики в качестве радиопротектора стабильного йода (калия йодистого), способствующего более быстрому выведению из организма радиоактивного йода-131.

7. Устойчивость работы промышленных объектов в особый период

7.1 Понятие об устойчивости работы промышленного объекта народного хозяйства

Экономика любого государства играет решающую роль в вооруженной борьбе. Она определяет характер и способы ведения войны и оказывает определяющее влияние на военную мощь государства, на ход и исход войны в целом. В современных условиях, когда научно-технический прогресс во всех областях производства достиг невиданных масштабов и привел к созданию новейших видов оружия массового поражения, роль и значение экономики как важнейшего фактора подготовки и ведения войны возросли еще больше.

При применении противоборствующей стороной средств массового поражения любой объект промышленности может оказаться в сфере воздействия поражающих факторов этого оружия. Степень разрушения объектов в основном зависит от места расположения в очаге поражения и подготовленности объекта к защите от воздействия поражающих факторов, прежде всего ядерного взрыва. Объекты, на которых будут приняты меры по повышению устойчивости их работы, будут иметь меньше разрушений, а,

следовательно, и сроки ввода их в действие после ядерного удара будут более короткими.

Под устойчивостью работы объекта народного хозяйства (ОНХ) понимается способность его выпускать установленные виды продукции в объемах и номенклатуре, предусмотренных соответствующими планами, в условиях воздействия ОМП, а также силами объекта восстанавливать нарушенное производство в случае попадания его в зоны слабых и средних разрушений.

На устойчивость работы объекта в особый период (в военное время) в значительной степени могут влиять следующие факторы:

- а) возможность защиты рабочих и служащих от поражающих факторов ОМП. При этом особое внимание обращается на обеспечение укрытия всех работающих людей в защитных сооружениях;
- б) способность промышленных зданий и сооружений противостоять поражающим факторам, прежде всего, ядерного взрыва;
- в) защищенность объекта от поражения вторичными факторами;
- г) надежность системы управления производством;
- д) надежность системы снабжения объекта всем необходимым для производства продукции;
- е) подготовленность объекта к восстановлению нарушенного производства.

7.2 Оценка устойчивости работы промышленного объекта

Основу современного промышленного объекта составляют: производственный персонал, т.е. рабочие и служащие; здания и сооружения, в которых размещаются производственные цеха, станочное и технологическое оборудование; система водо-, газо- и энергоснабжения; запасы сырья, топлива, комплектующих элементов и ремонтного фонда; система производственных связей с другими объектами. Нарушение любого из этих элементов может привести к временной остановке или полному прекращению производства.

В связи с этим исследования устойчивости работы промышленного объекта предусматривают всестороннее изучение условий, в которых будет протекать производственная деятельность объекта в особый период с точки зрения способности его противостоять воздействию поражающих факторов ядерного взрыва.

Цель таких исследований состоит в том, чтобы выявить слабые, уязвимые места в работе объекта в условиях воздействия на него поражающих факторов, а затем, на основании полученных данных, разработать эффективные и экономически оправданные мероприятия по повышению устойчивости работы объекта в особый период.

В ходе изучения особое внимание обращается на защиту рабочих и служащих, а также средств производства, на повышение эффективности снабжения объектов сырьем, топливом, водой, электроэнергией, комплектующими изделиями; повышение надежности управления.

Исследования проводятся на основании распоряжения (приказа) министерства или ведомства, которому непосредственно подчинен объект. На основании распоряжения министерства руководитель объекта (начальник ГО) издает приказ о проведении исследований, в котором указывает задачи исследований, состав исследовательских групп, начало и конец работ.

На объекте могут создаваться следующие группы: руководителя объекта, отдела капитального строительства, главного технолога, главного энергетика, штаба ГО, служб объекта и др.

Исследования проводятся в три этапа: подготовительный, исследовательский и заключительный.

На первом этапе определяется состав участников исследования, создаются группы и назначаются их руководители; разрабатывается документация (календарный план подготовки, план проведения исследования, исходные данные, справочные данные о характере воздействия поражающих факторов ядерного взрыва, формы расчетных и отчетных документов и др.); проводится специальная подготовка участников исследования.

На втором этапе изучается район расположения объекта, его структура, плотность и тип застройки, размещение основных зданий и сооружений, возможное образование завалов; оцениваются возможные воздействия поражающих факторов ядерного взрыва на все элементы инженерно-технического комплекса объекта.

На третьем этапе разрабатывается план мероприятий по повышению устойчивости работы объекта; согласовывается с руководящими органами (которым подчинен объект) и утверждается.

Оценка устойчивости работы объекта производится по каждому поражающему фактору ядерного взрыва, оказывающему влияние на процесс производства. Она может быть выполнена при помощи моделирования уязвимости (поражений рабочих и служащих, пожаров, характера разрушений) объекта при воздействии поражающих факторов ядерного взрыва на основе использования расчетных данных.

При моделировании учитываются следующие положения:

1. Основными поражающими факторами ядерного взрыва являются: ударная волна, световое излучение, проникающая радиация (ПР), радиоактивное заражение (РЗ) и электромагнитный импульс. Поэтому оценивать устойчивость объекта нужно по отношению к каждому из поражающих факторов.

2. При взрыве могут возникнуть вторичные поражающие факторы: пожары, заражение СДЯВ и другие. Они также должны учитываться при оценке устойчивости работы объекта.

3. Ядерные взрывы можно рассматривать как случайные события. Поэтому объективная оценка последствий ядерных взрывов может быть проведена на основании законов теории вероятностей. Так, при определении максимальных значений параметров поражающих факторов ядерного взрыва необходимо исходить из того, что попадание ядерных боеприпасов в цель подчиняется нормальному закону.

4. Промышленный объект состоит из зданий, сооружений, коммуникаций и других элементов. Элементы объекта обычно не являются равнопрочными. Их сопротивляемость воздействию поражающих факторов ядерного взрыва различна: одни разрушаются в большей степени, другие – в меньшей или остаются неповрежденными. Кроме того, элементы различаются по эксплуатационным свойствам. Таким образом, устойчивость объекта в целом определяется устойчивостью каждого элемента в отдельности.

5. На каждом объекте имеются главные, второстепенные и вспомогательные элементы. В обеспечении функционирования объектов второстепенные и вспомогательные элементы могут играть немаловажную роль. Поэтому анализ уязвимости объекта предполагает обязательную оценку роли и значения каждого элемента, от которого в той или иной мере зависит функционирование предприятия.

6. Решая вопросы защиты и повышения устойчивости объекта, необходимо соблюдать принцип равной устойчивости ко всем поражающим факторам ядерного взрыва. Принцип равной устойчивости заключается в необходимости доведения защиты зданий, сооружений и оборудования объекта до такого целесообразного уровня, при котором выход из строя от действия каждого из поражающих факторов может возникнуть на одинаковом расстоянии от центра взрыва. Нецелесообразно, например, повышать устойчивость здания к воздействию светового излучения, если здание находится на таком расстоянии от центра взрыва, на котором под действием ударной волны происходит его сильное разрушение.

При воздействии ударной волны здания, оборудование, коммунально-энергетические сети объекта могут быть разрушены в различной степени.

В качестве количественного показателя устойчивости объекта к воздействию ударной волны принимается значение избыточного давления (ΔP_{ϕ}), при котором здания, сооружения и оборудование объекта получают слабые или средние разрушения. Это значение избыточного давления принято считать пределом устойчивости объекта к ударной волне ($\Delta P_{\phi \text{ lim}}$).

Для оценки необходимы следующие исходные данные: местоположение точки прицеливания; удаление объекта от точки прицеливания (R_r); ожидаемая мощность боеприпаса (q); вероятное максимальное отклонение взрыва от точки прицеливания ($R_{\text{отк}}$); характеристика объекта и его элементов.

Оценка устойчивости объекта к воздействию ударной волны производится в следующей последовательности:

1. Определяется максимальное значение избыточного давления ударной волны ($\Delta P_{\phi \text{ макс}}$), ожидаемое на объекте при ядерном взрыве. Если известно удаление объекта от точки прицеливания (R_r), то расстояние от объекта до ближайшего вероятного центра взрыва R_x можно вычислить по формуле

$$R_x = R_r - R_{\text{отк}}.$$

Зная значение R_x и используя таблицу, находится избыточное давление для боеприпаса q на расстоянии R_x до центра взрыва. Найденное значение и будет

максимальным $\Delta P_{\phi \text{ макс}}$, поскольку оно соответствует случаю, когда центр взрыва окажется на минимальном удалении от объекта.

2. Выделяются основные элементы на объекте, от которых зависит функционирование объекта и выпуск необходимой продукции в особый период. Для этого необходимо знать специфику производства, объем и характер задач военного времени, особенности технологического процесса, структуру производственных связей. На основе анализа выявляются основные цехи, участки производства, системы объекта, которые могут быть не только среди главных, но и среди второстепенных и вспомогательных элементов. Результаты оценки заносятся в табл. 7.1.

3. Определяется предел устойчивости к ударной волне каждого элемента – избыточное давление, приводящее к такой степени разрушения элемента, при которой возможно его восстановление силами объекта. Обычно это может быть в случае, если элемент цеха получит среднюю степень разрушения. Причем если элемент может получить данную степень разрушения в определенном диапазоне избыточных давлений, то за предел устойчивости берется нижняя граница диапазона. Определение предела устойчивости объекта к воздействию ударной волны производится по минимальному пределу устойчивости входящих в его состав основных элементов.

4. Заключение об устойчивости к ударной волне производится путем сравнения найденного предела устойчивости объекта $\Delta P_{\phi \text{ лим}}$ с ожидаемым максимальным значением избыточного давления. Если окажется, что $\Delta P_{\phi \text{ лим}} \geq \Delta P_{\phi \text{ макс}}$, то объект устойчив к ударной волне, если же $\Delta P_{\phi \text{ лим}} < \Delta P_{\phi \text{ макс}}$ – неустойчив.

Таблица 7.1

Результаты оценки устойчивости цеха к воздействию ударной волны

Элементы цеха и их краткая характеристика	Степень разрушения при ΔP_{ϕ} , кгс/см ²								Предел устойчивости, ΔP_{ϕ} , кгс/см ²
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	
Здание: одноэтажное, кирпичное; перекрытие из железобетонных плит									0,3
Внутреннее оборудование: краны, крановое оборудование; тяжелые станки									0,5
									0,5
Коммун. энергет. сист.: воздуховоды на металлических эстакадах; кабельн. наземн. Электросеть									0,6
									0,6

Примечания.

1. Предел устойчивости цеха $0,3 \text{ кгс/см}^2$.

2. Условные обозначения:  – слабые разрушения;  – средние разрушения;  – сильные разрушения.

5. На основе анализа результатов оценки устойчивости делаются выводы и предложения по каждому элементу цеха в целом; разрабатываются предложения по повышению предела устойчивости. Целесообразным пределом повышения устойчивости может считаться значение избыточного давления (ΔP_{ϕ}), вызывающее такие степени и характер разрушений на объекте, при которых восстановление его будет реальным. Предел устойчивости объекта необходимо повышать до $\Delta P_{\phi \text{ макс}}$. Однако если придется при этом повышать пределы устойчивости многих элементов, что потребует значительных экономических затрат, то целесообразный предел необходимо уменьшить.

Поражающее действие светового излучения определяется энергией светового импульса. Оценка уязвимости объекта при воздействии светового излучения начинается с определения максимального значения светового импульса ($U_{\text{св.макс}}$). Для оценки необходимы следующие исходные данные: характеристика зданий и сооружений; вид производства и используемые в технологическом процессе горючие вещества и материалы; вид готовой продукции.

Оценка производится в следующей последовательности:

1. По справочной литературе определяется максимальное значение светового импульса ($U_{\text{св.макс}}$) с целью установления предела повышения противопожарной устойчивости объекта.

2. Определяется степень огнестойкости зданий и сооружений объекта. С этой целью изучается каждый элемент объекта, материалы, из которых выполнены основные и вспомогательные конструкции.

3. Выявляется категория производства по пожарной опасности. Для этого изучается характер технологического процесса и виды, используемых в производстве материалов и веществ, а также вид готовой продукции. Результаты оценки заносятся в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Результаты оценки устойчивости цеха к воздействию светового излучения

I	II	III	IV	V	VI
Здание одноэтажное кирпичное; перекрытия из ж/б плит; предел огнестойкости несущих стен 2,5 ч., перекрытий 1ч.	II	Д	Двери и оконные рамы деревян., окрашены в темный цвет. Кровля – красная черепица	7,5 11,4	7,5

Примечание: I - элемент объекта; II - степень огнестойкости здания; III - категория пожарной опасности производства; IV- возгораемые элементы (материалы) в здании и их характеристика; V- величина светового импульса,

вызывающая воспламенение сгораемых элементов, кал/см²; VI - предел устойчивости здания к световому излучению.

4. На основании полученных данных определяется предел устойчивости объекта к световому излучению. Объект считается устойчивым, если при ожидаемом максимальном световом импульсе не загораются какие-либо элементы или материалы, т.е. при условии, что $U_{\text{св.лим}} \geq U_{\text{св.макс}}$.

5. На основании данных делаются выводы и разрабатываются предложения по повышению предела устойчивости объекта к световому излучению. Повышение устойчивости объекта сводится в конечном итоге к замене легковоспламеняющихся материалов здания материалами, воспламеняющимися при более высоком световом импульсе.

За критерий устойчивости промышленного объекта в условиях воздействия проникающей радиации и радиоактивного заражения принимается допустимая (установленная) доза облучения, которую могут получить люди за время работы смены в конкретных условиях. Это значение принято считать пределом устойчивости объекта в условиях заражения $P1_{\text{лим}}$.

Оценка устойчивости объекта к воздействию проникающей радиации и радиоактивного заражения начинается с определения максимального уровня радиации, ожидаемого на объекте. Для оценки необходимы следующие исходные данные: максимальная доза проникающей радиации ($D_{\text{пр.макс}}$) и максимальный уровень радиации на 1 час после взрыва ($P1_{\text{макс}}$); характеристика производственных участков (конструкция здания, этажность, местоположение); характеристика убежищ (тип, материал, толщина каждого защитного слоя перекрытия).

Оценка производится в такой последовательности:

1. Определяется максимальное значение уровня радиации, ожидаемого на объекте, находящемся на расстоянии R_x от точки прицеливания. Для этого используется справочная литература.

2. Определяется степень защищенности рабочих и служащих зданием и убежищем, в которых будет работать или укрываться производственный персонал. Значения коэффициентов определяются по справочной литературе и расчетным путем.

3. Определяются дозы облучения, которые может получить производственный персонал при воздействии проникающей радиации и радиоактивного заражения. При этом учитывается ослабление радиации конструкциями здания и материалов, из которых построены убежища. Дозы облучения рассчитываются на основании исходных данных.

4. На основании полученных данных делают выводы и предложения по повышению устойчивости объекта к проникающей радиации и радиоактивному заражению (герметизация производственных помещений, повышение защитных свойств убежищ и другие).

Общие выводы по оценке устойчивости элементов объекта к воздействию поражающих факторов ядерного взрыва делаются на основании определения комплексного воздействия ударной волны, светового излучения, радиоактивного заражения на территории объекта, а также вторичных

поражающих факторов.

7.3 Основные направления и мероприятия по повышению устойчивости работы объекта в особый период

На каждом ОНХ заблаговременно организуется и проводится большой объем работ, направленных на повышение его работоспособности в условиях особого периода. Все они проводятся исходя из конкретных условий данного объекта. Однако некоторые направления и мероприятия являются и должны проводиться на всех объектах.

Основными направлениями являются: обеспечение защиты рабочих и служащих от ОМП; рациональное размещение производства; подготовка производства к работе в особый период; подготовка системы управления объектом.

Обеспечение защиты рабочих и служащих от ОМП достигается проведением следующих мероприятий: накоплением защитных сооружений и СИЗ, а также подготовкой к строительству быстровозводимых защитных сооружений; организацией эвакуационных мероприятий; организацией снабжения рабочих и служащих всеми видами довольствия; разработкой режимов деятельности населения в условиях радиоактивного, химического и бактериологического заражения; защитой продовольствия, водоисточников, систем водоснабжения от всех видов заражения.

Рациональное размещение производства включает в себя следующие мероприятия: размещение производственных фондов с учетом рельефа местности; размещение филиалов производства ОНХ в загородной зоне и использование в горных выработках.

Подготовка производства к работе в особый период включает: готовность производственных фондов, теплоэнергетического хозяйства и системы материально-технического снабжения к работе в военное время.

Готовность производственных фондов обеспечивается: повышением устойчивости зданий и сооружений; защитой уникального, особо важного оборудования; снижением запасов СДЯВ; созданием надежных систем обнаружения и оповещения об опасности и другие.

Готовность теплоэнергетического хозяйства обеспечивается: дублированием ввода всех видов снабжения объекта; заглублением и кольцеванием энерго коммунальных систем; подготовкой котельных, ТЭЦ и перевод на резервное топливо и другие.

Готовность системы материально-технического снабжения обеспечивается: установлением оптимального объема хранения резерва материально-технических средств; защитой материалов, сырья и готовой продукции, согласованием с поставщиками и транспортными органами вопросов по запасам материалов.

Подготовка к проведению восстановительных работ на объекте включает следующие мероприятия: разработку вариантов восстановления производства и определения очередности работ; надежным хранением и разработкой

технической документации, необходимой для ведения восстановительных работ, и другие.

Подготовка системы управления включает следующие мероприятия: создание и поддержание в готовности защищенных пунктов управления на ОНХ и в загородной зоне; развитие системы оповещения и связи; заблаговременную разработку запасных и дублирующих каналов связи; подготовку резерва руководящего состава; организацию взаимодействия с территориальными органами ГО.

7.4 Нормы проектирования инженерно-технических мероприятий гражданской обороны

При решении задач повышения устойчивости работы ОНХ важнейшее значение имеют нормы проектирования инженерно-технических мероприятий гражданской обороны, введенные 1 августа 1966 года. Требования норм направлены главным образом на защиту населения, снижение возможных потерь и разрушений, на повышение устойчивости работы ОНХ и создание благоприятных условий для более успешного проведения спасательных и других неотложных работ (СиДНР) в очагах поражения. Нормы проектирования инженерно-технических мероприятий (ИТМ) ГО в полном объеме распространяются на крупные города и отдельно расположенные вне города объекты, а также на прилегающую к этим городам (объектам) территорию в пределах зон возможных разрушений с расположенными на ней категорированными объектами.

Зона возможных разрушений – это территория с расположенными на ней категорированными городами и объектами, в пределах которой при ядерном взрыве может возникнуть избыточное давление во фронте ударной волны $0,1 \text{ кгс/см}^2$ и более. Зона возможных разрушений включает зоны сильных и слабых разрушений.

Зона сильных разрушений – это территория, в пределах которой при ядерном взрыве может возникнуть избыточное давление во фронте ударной волны $0,3 \text{ кгс/см}^2$ и более. Территория, заключенная между границами зон возможных разрушений и возможных сильных разрушений, называется зоной слабых разрушений.

Нормы ИТМ ГО в частности защиты населения от радиоактивного заражения распространяются на всю территорию республики, включая и сельскую местность.

Нормы проектирования ИТМ ГО учитываются при разработке генеральных планов, при реконструкции существующих городов, при проектировании и реконструкции промышленных предприятий, систем снабжения объектов, транспорта, связи и др.

Нормы ИТМ ГО предусматривают защиту рабочих и служащих предприятий, продолжающих работу в особый период, в убежищах с защитными свойствами четвертого класса. В сельской местности

предусматривается защита в противорадиационных укрытиях с коэффициентом защиты 50-200.

Требование норм в отношении размещения ОНХ (а также к планировке и застройке городов) направлены на исключение концентрации промышленности и запрещение расположения предприятий в крупных городах.

Нормами ИТМ ГО установлен следующий порядок размещения объектов в городах и их пригородных и загородных зонах:

а) в зоне возможных сильных разрушений размещают такие ОНХ, производственная деятельность которых непосредственно связана с обеспечением и ежедневным обслуживанием населения данного города: пищевые предприятия, предприятия сферы обслуживания и бытовых услуг, трамвайные и троллейбусные депо, гаражи и др. Предприятия коммунально-энергетического назначения размещают ближе к границам проектной застройки, к окраинам города, рассредоточенно;

б) за зоной возможных сильных разрушений размещают: специализированные больницы, насосные и компрессорные станции магистральных трубопроводов, районные электростанции и т.д.;

в) за зоной возможных разрушений размещают предприятия, производственная деятельность которых непосредственно не связана с обслуживанием населения: турбазы, склады государственных резервов, продуктов питания;

г) склады горючей жидкости размещают ниже по течению реки и не ближе 100 м от населенных пунктов;

д) в зонах возможного катастрофического затопления запрещается строительство промышленных предприятий.

Главными требованиями к застройке городов являются:

а) снижение плотности застройки. Город должен делиться на участки не менее 250 га и между ними должны быть противопожарные разрывы не менее 100 м;

б) устройство широких магистральных улиц в городе с выходом из центра в загородную зону. Улицы и дороги должны быть связаны с вокзалами, станциями, аэропортами. Ширина улиц (Ш) рассчитывается из выражения:

$$Ш = \frac{H_1 + H_2}{2} + 15м,$$

где Н - самые высокие дома по обе стороны улицы;

в) устройство искусственных водоемов в сочетании с зелеными насаждениями и оборудование к ним путей подъезда для возможности забора воды;

г) развитие загородной зоны путем строительства развитой дорожной сети, туристических и спортивных баз, домов отдыха, пансионатов и т.д. Это создаст более благоприятные условия при проведении мероприятий по обеспечению эвакуации населения.

Нормы проектирования ИТМ ГО рекомендуют производственные здания и сооружения проектировать преимущественно одноэтажными, прямоугольными

в плане и без перепада высот. Несущие конструкции зданий и сооружений должны быть каркасного типа, стены из несгораемых и трудно сгораемых материалов (плиты, панели), оконные проемы заполнены армированным стеклом и синтетическим прозрачным материалом.

Внутренние перегородки производственных зданий должны изготавливаться из легких материалов, а перекрытие – из сборных железобетонных элементов. В сооружениях коммунально–бытового назначения предусматривается: в банях – возможность полной санитарной обработки людей, подвергшихся заражению; в общественных гаражах, в автопарках и станциях обслуживания машин – возможность обеззараживания автотранспорта; на фабриках химчистки и механических прачечных – возможность обеззараживания одежды.

Главное требование норм проектирования к системам снабжения объекта всеми видами заключается в том, чтобы каждая из этих систем работала как объединенная единая система и в то же время была в состоянии автономно работать по отдельным ее участкам. К объектам и коммуникациям этих систем предъявляются требования по дублированию, заглублению, кольцеванию.

При проектировании новых транспортных путей прокладку междугородных автомобильных дорог предусматривают в обход крупных городов. Строятся кольцевые дороги вокруг городов. Новые мосты строят на таком расстоянии от существующих, чтобы они не были разрушены одним ядерным взрывом. Разветвленная сеть дорог вокруг города создает хорошие условия для эвакуации населения, а также позволяет осуществлять быстрый подвоз формирований ГО для проведения СидНР.

Таким образом, устойчивость работы объекта в особый период включает большой круг вопросов, которые необходимо решать на каждом предприятии в соответствии с его спецификой. Повышение устойчивости работы объектов достигается заблаговременным проведением организационных, инженерно-технических и других мероприятий.

8. Спасательные и другие неотложные работы в очагах поражения

8.1 Основы спасательных и других неотложных работ

Спасательные и другие неотложные работы (СидНР) проводятся с целью: спасения людей и оказания помощи пораженным; локализации аварий во всех видах систем снабжения объекта, препятствующих проведению спасательных работ. СидНР имеют различное содержание, но проводятся одновременно.

К спасательным работам относятся: ведение разведки маршрутов выдвижения формирований и участков работ; локализация и тушение пожаров на участках работ; розыск пораженных и извлечение их из завалов, поврежденных и горящих зданий; вскрытие разрушенных (заваленных) защитных сооружений и подача воздуха в них; оказание первой помощи пораженным людям и эвакуация их в лечебные заведения; вывод населения из

опасных в безопасные районы; санитарная обработка людей и обеззараживание их одежды, территории, сооружений и техники.

Другие неотложные работы включают: прокладка путей и устройство проездов в завалах; локализацию аварий во всех видах систем снабжения объекта; укрепление или обрушение конструкций зданий и сооружений, угрожающих обвалом и препятствующих безопасному движению; восстановление и ремонт поврежденных защитных сооружений для защиты людей от возможных повторных ядерных взрывов.

СиДНР проводятся непрерывно днем и ночью, в любую погоду, до полного их завершения. Успешное проведение СиДНР достигается: своевременной организацией и непрерывным ведением разведки; созданием группировки сил и средств, быстрым их выдвиганием на участок (объект) работ; высокой выучкой личного состава формирования; активным участием населения в проведении спасательных работ и умением оказывать первую помощь пораженным; организацией и поддержанием непрерывного взаимодействия органов управления, формирований и других сил и средств, привлекаемых к спасательным работам.

Для организованного проведения СиДНР создается в мирное время группировка сил и средств ГО. В группировку сил включаются объектовые и территориальные формирования городских и сельских районов, а также воинские части ГО. Она может состоять из формирований первой группы, второй группы и резерва. Формирования, входящие в состав группы, распределяются по сменам. Состав группы, количество и состав смен определяются исходя из конкретной обстановки, а также наличия сил и средств.

В зависимости от сложившейся обстановки часть сил и средств может вводиться сразу в очаг поражения, а в случае прогнозирования возможного образования очага поражения на ОНХ группировка сил и средств выводится в загородную зону, в заранее установленные районы расположения. В загородной зоне формирования располагаются в населенных пунктах или на местности, имеющей естественные укрытия. Создаются условия для быстрого сбора формирований в назначенном районе, подготавливаются пути для выдвигания формирований к объектам работ.

Формирования могут выдвигаться в составе общей колонны сил ГО района или самостоятельно. В первом случае порядок выдвигания определяется начальником ГО района, во втором – начальником ГО объекта. До начала выдвигания в очаг поражения, формирования выводятся в район сбора, определяемый заблаговременно вблизи от маршрута движения, где получают от начальника ГО объекта задачу на выдвигание и проведение СиДНР. Командир формирования, получив задачу на выдвигание и проведение СиДНР, после ее уяснения и принятия решения ставит задачи подчиненным, отдает необходимые распоряжения и организует выдвигание формирования в очаг поражения.

Формирования для выдвигания к очагу поражения выстраиваются в походную колонну. Один из возможных вариантов построения колонны:

разведка, отряд обеспечения движения (ООД), колонна главных сил, техническое замыкание.

В первую очередь задачи ставятся разведке и формированиям, входящим в состав ООД. Разведке указывается, какие данные и к какому времени добыть, а отряду обеспечения движения – состав, маршрут движения, время прохождения исходного пункта (рубежа), задачи по обеспечению выдвижения сил и средств к объектам работ. ООД на основании данных разведки восстанавливает разрушенные участки дорог, прокладывает колонные пути в обход завалов, зон с высокими уровнями радиации; восстанавливает переправы; устраивает проезды в завалах. Главные усилия ООД сосредоточивает на обеспечении своевременного выдвижения сил ГО к очагу поражения и быстрого ввода их на объект работ.

За отрядом обеспечения движения выдвигаются главные силы ГО объекта. Во главе колонны обычно следуют начальник гражданской обороны объекта и его штаб.

Командир формирования лично руководит выдвижением формирования. Он проверяет готовность его к движению и отдает распоряжение на начало выдвижения. В ходе выдвижения командир формирования находится в голове колонны. С помощью сигнальных средств он поддерживает постоянную связь и осуществляет управление формированием, поддерживает установленный порядок и меры безопасности, следит за соблюдением установленной скорости движения, своевременным прохождением исходного пункта и пунктов регулирования.

Командиры формирований обеспечивают своевременный выход формирований к очагу поражения и организованный ввод их на объект работ.

Первыми в очаг поражения входят разведывательные формирования. В очаге поражения разведчики определяют уровни радиации, отыскивают и обозначают убежища и укрытия, устанавливают состояние укрываемых людей, определяют наименее опасные пути движения на территорию очага поражения. Кроме того, разведчики определяют характер разрушений, пожаров и аварий на системах снабжения объекта, обозначают также места, опасные для работы формирований. Результаты разведки очага поражения командир разведывательного формирования докладывает начальнику ГО объекта.

При подходе сил гражданской обороны к очагу поражения начальник ГО объекта на основании данных, полученных от разведки, при необходимости уточняет задачи формированиям и организует быстрый их ввод на участки работ. Командиры формирований уточняют задачи подразделениям своего формирования и выводят их на участок работ.

8.2 Проведение СидНР в очаге ядерного поражения

Последовательность, приемы и способы выполнения спасательных работ определяются начальником ГО объекта и командирами формирований в зависимости от обстановки в очаге поражения: характера разрушения зданий и сооружений, аварий на коммунально-энергетических и технологических сетях,

уровней радиоактивного заражения, характера пожаров и других факторов, влияющих на проведение работ.

Для проведения СидНР на объектах народного хозяйства создаются сводные и спасательные отряды (команды, группы) посты радиационного и химического наблюдения, звенья связи, санитарные дружины и посты, аварийно-технические группы (звенья) и другие.

Количество и численность объектовых формирований определяется штабом ГО объекта, согласовывается со штабом ГО района (города).

Сводная команда объекта состоит из двух спасательных групп, группы механизации и аварийно-технических работ, санитарной дружины, звена связи и разведки. Всего в команде 108 человек, техническое оснащение – один бульдозер, один автокран, компрессорная станция; электростанции: силовая, осветительная; шесть грузовых автомобилей, два сварочных аппарата.

Личный состав спасательных групп свои задачи выполняет во взаимодействии с санитарной дружиной. Основной задачей спасательных групп является поиск и спасение людей, оказание пораженным первой помощи. Поиск и спасение людей начинается сразу после ввода команды на участок работы. С этой целью личный состав спасательных групп разыскивает и спасает пораженных людей, разбирает завалы вручную и с помощью средств малой механизации. Поиск начинается с обследования не приспособленных для укрытия людей подвальных помещений, наружных оконных и лестничных проемов, околостенных пространств нижних этажей зданий. Люди могут оказаться под завалами в поврежденных и горящих зданиях. Людей разыскивают путем оклика, переговоров или перестукиванием. Для извлечения людей из-под завалов производится разборка завала, устройство проходов, проделывание проемов в стене. Вынос пораженных людей через устроенный проход может осуществляться на руках, плащах, одеялах, брезенте. Пораженных людей эвакуируют в безопасный район и оказывают им первую помощь.

Личный состав группы механизации и аварийно-технических работ свои задачи выполняет во взаимодействии со спасательными группами, пожарной командой и санитарной дружиной. Основными задачами группы являются: устройство проездов и проходов, а также их обозначение в светлое и темное время суток; вскрытие заваленных защитных сооружений и подача в них чистого воздуха; локализация и устранение аварий и повреждений во всех видах систем снабжения объекта, которые затрудняют проведение спасательных работ; укрепление или обрушение конструкций зданий и сооружений, угрожающих обвалом; отыскание и уничтожение невзорвавшихся боеприпасов на участке работ.

Работы по устройству проездов и проходов в первую очередь проводятся к защитным сооружениям, разрушенным зданиям и сооружениям, где могут находиться пораженные люди. Если завал незначительный, проезд в нем проделывается путем расчистки проезжей части от обломков. При сплошных завалах высотой более 1 м проезд прокладывается по завалу. Для одностороннего движения проезд устраивается шириной 3-3,5 м, для

двухстороннего – 6-6,5 м. Работы по прокладке проездов и проходов выполняются бульдозерно-экскаваторными и краново-погрузочными звеньями. Крупноразмерные элементы удаляются, поверхность завалов разравнивается и уплотняется. Проезды и проходы на участке работы обозначаются и движение вне обозначенных дорог запрещается.

Вскрытию заваленных убежищ предшествует установление связи с укрываемыми и подача воздуха в убежище. Для установления связи с укрываемыми в убежищах используются сохранившиеся средства связи, воздухозаборные отверстия (переговариваются через них); перестукивание через двери, стены, трубы водоснабжения и отопления. Убедившись в том, что в убежище находятся люди, а входы (выходы) и оголовки убежища завалены, принимается решение о подаче воздуха в убежище. Для подачи воздуха в убежище расчищаются воздухозаборные устройства или проделываются отверстия в стене (перекрытии) и подается воздух компрессорами. Вскрытие убежищ производится: путем разборки завалов над основным входом с последующим открыванием двери или вырезкой в ней отверстия; откопкой люка аварийного выхода; разборкой завала у наружной стены здания с последующей откопкой приямка в грунте и пробивкой проема в стене убежища; пробивкой проема в стене убежища из соседнего примыкающего к нему помещения и другими способами. Главное – спасти людей в минимально короткое время имеющимися силами и средствами.

Основной способ локализации аварий и повреждений на коммунально-энергетических и технологических системах – отключение разрушенных участков и стояков в зданиях. С этой целью используются задвижки в сохранившихся смотровых колодцах и запорные вентили в подвалах.

Во время проведения СидНР необходимо исключить возможную опасность обрушения поврежденных конструкций зданий и сооружений на проезжую часть улиц или на вскрываемые защитные сооружения. С этой целью здания и сооружения, грозящие обвалом, обрушивают или временно укрепляют. Обрушивают неустойчивые угрожающие обвалом части здания с помощью лебедки и троса или трактором, а также подрывным способом. Укрепление конструкций производится установкой простых деревянных или металлических подкосов. Для крепления могут использоваться металлические и деревянные балки, брусья, бревна, доски.

Личный состав санитарной дружины свои задачи выполняет во взаимодействии со спасательными группами, пожарной командой и самостоятельно. Последняя задача – эвакуация пострадавших людей из опасных в безопасные районы.

Звено связи и разведки предназначено для ведения радиационной и химической разведки, организации связи на участке работ, организации дозиметрического контроля за облучением личного состава сводной команды. Радиационная разведка ведется с помощью прибора ДП-5А(Б,В). Химическая разведка ведется войсковым прибором химической разведки (ВПХР) и другими. Дозиметрический контроль за облучением личного состава команды ведется с помощью приборов ДП-24(22).

Для управления подчиненными подразделениями, организации взаимодействия с соседними формированиями и передачи команд (информации) начальнику ГО объекта организуется связь между пунктом управления (ПУ) командира команды с ПУ начальника ГО объекта и соседями. Связь с начальником ГО объекта организуется по радио и проводными средствами, а связь с подчиненными и взаимодействующими подразделениями – по проводным средствам связи, сигнальными средствами, посыльными на машинах и т.п.

При ведении СидНР сводной команде объекта придается противопожарное формирование (звено, команда, отряд). На участке работ противопожарное формирование локализует и тушит пожары там, где находятся люди (у входов в защитные сооружения, на путях эвакуации пораженных людей, на направлениях ввода и работы формирований). При необходимости часть пожарных машин может использоваться для подачи воды из удаленных источников. Локализацией, тушением пожаров обеспечивается успешный ввод формирований в очаг поражения и проведение СидНР.

8.3 Спасательные работы в очагах химического и бактериологического (биологического) поражения

При возникновении очага химического поражения немедленно оповещаются рабочие, служащие и население, находящееся в зоне заражения и в районах, которым угрожает опасность заражения. В целях уточнения места, времени, способа и типа отравляющих (ядовитых) веществ, определения границ очага поражения и направления распространения зараженного воздуха штабом ГО высылаются формирования радиационной и химической, а также медицинской разведки. Подготавливаются формирования для проведения спасательных работ. На основании данных, полученных от разведки и других источников начальник ГО принимает решение по ликвидации химического заражения.

Для проведения спасательных работ привлекаются: санитарная дружина, сводные формирования, команды обеззараживания, формирования механизации. Командирам этих формирований начальник ГО объекта указывает: участки и места работ; выделяет транспорт; определяет участки местности и объекты, подлежащие дегазации; пункты приготовления дегазирующих растворов и зарядки машин; указывает участки (места) устройства заградительных валов, канав, ограничивающих растекание СДЯВ, время начала и конца работ.

Вслед за разведкой вводятся одновременно все формирования. В очаге химического поражения прежде всего оказывается помощь пораженным, организуется их эвакуация в медицинские учреждения. Очаг поражения оцепляется, проводится обеззараживание местности, сооружений, а также санитарная обработка.

Формирования обеззараживания дегазируют проезды и проходы, территорию, сооружения, технику и этим обеспечивают действия других формирований, а также вывод населения из очага химического поражения.

В очаге бактериологического поражения проводятся: бактериологическая разведка; вводится карантинный режим или обсервация; производится санитарная экспертиза по контролю зараженности продовольствия, воды и по их обеззараживанию; противоэпидемические, санитарно профилактические и другие мероприятия.

При организации работ при ликвидации очага поражения учитываются: способность бактериологических средств вызывать массовые инфекционные болезни среди людей; способность микробов и токсинов сохраняться длительное время во внешней среде; наличие и продолжительность инкубационного периода проявления болезней; сложность лабораторного обнаружения возбудителя; опасность заражения личного состава формирований и необходимость применения СИЗ.

В случае обнаружения признаков применения бактериальных средств в район немедленно высылаются бактериологическая разведка. На основании полученных данных устанавливается зона карантина или обсервации, намечается объем мероприятий и порядок их проведения с целью ликвидации очага поражения. Карантинный режим устанавливают с целью недопущения распространения инфекционных заболеваний за пределы очага.

Для проведения мероприятий по ликвидации очага биологического поражения привлекаются в первую очередь силы и средства, оказавшиеся на территории очага. При недостатке этих сил и средств привлекаются силы и средства, находящиеся за пределами очага. Перед вводом в очаг поражения проводятся мероприятия по обеспечению защиты личного состава формирований от инфекционных заболеваний. В зоне карантина осуществляется строгий контроль за соблюдением населением установленного режима поведения.

Смена формирований в этих очагах производится при строгом соблюдении режимных мероприятий.

8.4 Ведение спасательных и других неотложных работ при ликвидации последствий стихийных бедствий

При наводнениях для проведения спасательных и других неотложных работ привлекают спасательные отряды, команды, группы, а также ведомственные специализированные команды и подразделения, оснащенные плавсредствами, санитарные дружины, гидрометеорологические посты, разведывательные группы (посты), сводные отряды (команды) механизации работ, охраны общественного порядка.

Спасательные работы при наводнениях направлены на поиск людей на затопленной территории (посадка их на плавсредства— плоты, лодки, баржи или вертолеты) и эвакуацию в безопасные места. Разведгруппы, действующие на быстроходных плавсредствах и вертолетах, определяют места скопления

людей на затопленной территории, их состояние и периодически подают звуковые и световые сигналы. На основании полученных данных разведки начальник гражданской обороны уточняет задачи формированиям и выдвигает их к объектам спасательных работ. Небольшим группам людей, находящимся в воде, выбрасывают спасательные круги, резиновые шары, доски, шесты и другие плавательные предметы с учетом течения воды, направления ветра, извлекают спасенных на плавсредства и эвакуируют в безопасные районы. Для спасения и вывоза с затопленной территории большого числа людей используют теплоходы, баржи, катера и другие плавсредства. Посадку людей на них осуществляют непосредственно с берега. В этом случае выбирают и обозначают места, удобные для подхода судов к берегу, или оборудуют причалы.

При спасении людей, находящихся в проломе льда, подают конец веревки, доски, лестницы, любой другой предмет и вытаскивают в безопасное место. Для снятия людей с полузатопленных зданий, деревьев и местных предметов или спасения их из воды все плавсредства, используемые для выполнения спасательных работ, обязательно оснащают необходимым оборудованием и приспособлениями.

Борьбу с наводнением в период ледохода ведут путем устранения заторов, образующихся на реках.

Проведение СиДНР при борьбе с наводнениями вызывает определенную опасность для жизни личного состава формирований. Поэтому личный состав формирований должен быть обучен правилам поведения на воде, приемам спасения людей и пользования спасательным инвентарем.

С возникновением угрозы снежных заносов и обледенений штаб ГО приводит в готовность службы и формирования, оповещает население. Для борьбы со снежными заносами и обледенением привлекаются формирования общего назначения и служб, а также все трудоспособное население данного района, а при необходимости и соседних районов. Снегоочистительные работы в городах в первую очередь проводятся на основных транспортных магистралях, восстанавливается работа жизнеобеспечивающих объектов энерго-, тепло- и водоснабжения. Снег с дорожного полотна удаляют в подветренную сторону. Широко используют инженерную технику, находящуюся на оснащении формирований, а также снегоочистительную технику объектов. Для проведения работ привлекается весь наличный транспорт, погрузочная техника и население.

Непосредственно в зоне затопления санитарные дружины оказывают доврачебную помощь, после доставки на причал пострадавшим оказывается первая врачебная помощь.

При обледенении наиболее подвержены разрушительному действию линии электропередачи и связи, контактные сети электротранспорта. В борьбе с обледенением используют три способа – механический, тепловой и с применением антиобледенителей. Механический способ заключается в том, что намерзающий лед и снег сбивают с проводов шестами, скребками, укрепленными на шестах, веревками, перекинутыми через провода. На

контактных сетях электрифицированного транспорта применяют специально оборудованные электровозы. При тепловом способе используют переменный и постоянный ток.

На дорогах лед скалывают или посыпают песком, шлаком, мелким гравием, в первую очередь на участках с плохой видимостью и поворотах.

В местах снегонакопления устанавливают щиты и заборы, благодаря чему снег накапливается в безопасных местах.

При работах по ликвидации снежных заносов, обледенений и их последствий организуются места для обогрева и отдыха личного состава формирований и привлекаемого населения.

Спасение людей – главная задача спасательных работ при пожарах. Успех борьбы с пожарами во многом зависит от их своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по их ограничению и ликвидации. При обнаружении очага пожара начальник ГО объекта и штаб принимают все меры к его ликвидации: на основании данных разведки и других полученных сведений оценивают пожарную обстановку, принимают решение и ставят задачи формированиям.

Командир формирования после получения и уяснения задачи организует выдвижение формирования к указанному участку пожара. Для уточнения обстановки на маршруте и в районе пожара он высылает разведку, которая выявляет: характер пожара и его границы; направление распространения огня и возможные места устройства заградительных опорных полос; наличие и состояние водоисточников, подъездные пути к ним; пути вывода и способы спасения людей, находящихся на участке пожара.

При подходе формирования к участку пожара его командир на основе данных разведки, личного наблюдения определяет: приемы, способы и порядок действия при тушении пожара, ставит задачу каждому подразделению.

Формирования общего назначения при тушении и локализации пожара действуют самостоятельно или во взаимодействии с противопожарными и другими формированиями.

Из зон возможного распространения пожара эвакуируются люди и материальные ценности. В первую очередь разыскивают людей, оказавшихся в горящих районах, зданиях и сооружениях. Розыск людей осуществляют в целях безопасности два человека: один разыскивает, а второй страхует его с помощью веревки, находясь в менее опасном месте. В условиях сильного задымления и скопления угарного газа спасателям следует работать в противогазах.

При бурях и ураганах проводятся предупредительные спасательные работы. В районах, где наиболее часто возникают ураганы, здания и сооружения строят из наиболее прочных материалов, с наименьшей парусностью, ставят наиболее прочные опоры линий электропередачи и связи, для укрытия людей возводят заглубленные сооружения. О времени появления урагана оповещают штабы ГО объектов, население и формирования. До подхода ураганного ветра закрепляют технику, в производственных помещениях и жилых домах окна, двери, отключают электросети, газ, воду.

После урагана формирования совместно со всем трудоспособным населением объекта проводят спасательные и другие неотложные работы; спасают людей из заваленных защитных и других сооружений и оказывают им помощь, восстанавливают поврежденные здания, линии электропередачи и связи, газо- и водопровода, ремонтируют технику, проводят другие неотложные работы.

8.5 Содержание работы командира формирования по организации и проведению спасательных работ

Задачи на проведение спасательных и других неотложных работ доводятся до командира формирования распоряжением (приказом) начальника гражданской обороны объекта. Получив задачу от начальника ГО объекта, командир формирования уясняет ее, оценивает обстановку, принимает решение, отдает приказ подчиненным и приданным подразделениям, организует взаимодействие, контроль и управление.

Уясняя задачу, командир должен понять цель предстоящих действий, замысел начальника ГО, задачу своего формирования, его место и роль в выполнении общей задачи.

При оценке обстановки командир формирования обязан изучить:

- а) характер разрушений, пожаров и поражений на участке работ и на путях выдвижения к нему, виды и объем предстоящих работ;
- б) радиационную и химическую обстановку, их влияние на выполнение задач;
- в) обеспеченность и возможности своего и приданных формирований;
- г) положение, характер действий и задач соседей;
- д) характер местности, состояние погоды, время года, суток и их влияние на выполнение задач.

На основе выводов из уяснения задачи и оценки обстановки командир формирования принимает решение. Содержание решения:

- а) замысел действий (какой объем работы выполнить, где сосредоточить усилия, последовательность ведения работ, распределение средств усиления);
- б) задачи подчиненным подразделениям и приданным формированиям, способы и сроки их выполнения;
- в) порядок взаимодействия;
- г) мероприятия по организации управления и обеспечения.

Принятое решение составляет основу приказа на ведение спасательных и других неотложных работ. Приказ на ведение работ содержит восемь пунктов.

В первом пункте отражаются краткие выводы из оценки обстановки на маршруте движения и участке работ; во втором и третьем пунктах задачи формирования и соседей соответственно; четвертый пункт содержит решение на ведение работ. В пятом пункте (после слова «ПРИКАЗЫВАЮ») излагаются задачи подчиненным подразделениям и приданным формированиям; в шестом пункте – места сбора пострадавших и расположения медицинского пункта, а также пути и порядок эвакуации пораженных. В седьмом пункте указывается

допустимая (устанавливаемая) доза облучения личного состава формирования на время работы. Допустимая доза облучения устанавливается начальником ГО объекта. В последнем пункте указывается время начала и окончания работ, место расположения пункта управления командира формирования и его заместителей.

С выходом на участок (объект) работ, решение и задачи подчиненным могут уточняться.

После доведения приказа до подчиненных подразделений и приданных формирований командир организует взаимодействие, контроль и управление.

Взаимодействие заключается в согласовании действий формирований различного назначения по цели, времени, задачам и способам их выполнения. Организуя взаимодействие, командир формирования должен согласовать:

а) порядок действий подразделений и приданных формирований при выполнении СидНР;

б) размещение пунктов управления, организацию связи и порядок передачи информации, сигналы управления, оповещения и действия по этим сигналам.

Управление силами и средствами в ходе выполнения спасательных работ осуществляют:

а) начальник ГО объекта с пункта управления, развертываемого в защитном сооружении на объекте;

б) командир формирования с пункта управления, развертываемого в центре участка работ;

в) командиры подразделений (групп, звеньев) управляют подчиненными, находясь совместно с ними на местах работ.

Основным средством, обеспечивающим управление формированиями, является связь. Она организуется в соответствии с решением командира на ведение спасательных работ, указанием начальника штаба ГО объекта. Для связи применяются радио, проводные, подвижные и сигнальные средства, имеющиеся в формированиях, а также средства, выделенные старшим начальником.

Открытые переговоры по техническим средствам связи допускаются при передаче сигналов оповещения, команд и при связи с разведывательным подразделением без указаний уровней радиации, характера и степени химического и бактериологического заражения. Должностные лица называются по позывным, а пункты местности кодируются.

8.6 Виды обеспечения формирований и населения в очагах поражения

Основными видами обеспечения формирований и населения в очагах поражения являются: медицинское, материальное и техническое.

В очагах поражения организуется три вида помощи пострадавшим: первая помощь, первая врачебная помощь и специализированная медицинская помощь.

Доврачебная помощь оказывается как можно раньше после поражения. Ее цель – поддержание жизнедеятельности организма, борьба с наступающими осложнениями, подготовка к эвакуации. Этот вид помощи оказывается санитарными дружинами и спасательными подразделениями непосредственно в очаге поражения. Доврачебная помощь включает: остановку кровотечений, наложение эластичных бинтов и повязок на раны и ожоговые поверхности, простейшие противошоковые мероприятия, придание неподвижности при переломах костей, проведение искусственного дыхания и восстановление сердечной деятельности, надевание средств защиты органов дыхания, вынос тяжелопораженных и направление легкопораженных на пункты сбора. Места погрузки пораженных на транспорт устанавливаются непосредственно на участке работ с учетом возможности подхода к ним транспортных средств и наличия укрытия для защиты пораженных от повторных воздействий поражающих факторов.

Первая врачебная помощь оказывается в отрядах медицинской помощи (ОМП), развертываемых на незараженной местности возможно ближе к участкам работ. Эвакуация пораженных от мест погрузки осуществляется санитарным и грузовым автотранспортом формирований и старшего начальника.

После оказания первой врачебной помощи в ОМП пораженных сортируют и направляют по показаниям в специализированные медицинские учреждения больничной базы загородной зоны для стационарного лечения. Лица, получившие незначительные поражения, проходят лечение на пунктах сбора легкопораженных, разворачиваемых при ОМП.

Материальное обеспечение заключается в снабжении формирований техникой, приборами, средствами индивидуальной и медицинской защиты, горючими и смазочными материалами, имуществом, продовольствием и питьевой водой, бельем и обувью, ремонтными и строительными материалами.

Материальное обеспечение осуществляют: служба вещевого и продовольственного снабжения и служба материально-технического снабжения. Подчиненные им формирования развертывают в указанных местах пункты питания, автозаправочные станции и бесперебойно обеспечивают всем необходимым формирования при проведении спасательных работ. Заправка машин горючим осуществляется на местах работ. Питание пораженного населения организуется в ОМП. Одежда личного состава формирований и пораженного населения, зараженная сверх допустимых норм или пришедшая в негодность, заменяется на санитарно-обмывочных пунктах и в ОМП.

Техническое обеспечение заключается в организации технически правильного использования, обслуживания, ремонта и эвакуации техники, привлекаемой для ведения спасательных работ. Оно осуществляется технической службой, а при отсутствии такой службы – штабом гражданской обороны объекта. Формирования технического обеспечения развертывают сборные пункты поврежденных машин, высылают эвакуосредства к трудно проходимым местам, осуществляют ремонт техники на месте повреждения, а

машины, требующие сложного ремонта, эвакуируют на ближайшие ремонтные предприятия.

Руководство спасательными работами начальник гражданской обороны, штаб и командиры формирований осуществляют непрерывно. Они контролируют выполнение задач подчиненными, поддерживают организованное взаимодействие, ставят новые или уточняют ранее поставленные задачи, осуществляют маневр силами и средствами, направляя их на достижение наибольшего успеха в спасении людей. Кроме того, они организуют наблюдение за изменением уровней радиации, следят за соблюдением мер защиты и безопасности личного состава, осуществляют всестороннее обеспечение формирований; систематически докладывают старшему начальнику о ходе выполнения поставленных задач.

Смена формирований производится по истечении времени работ или при получении личным составом установленных (допустимых) доз облучения. В целях обеспечения непрерывного проведения работ личный состав сменяется непосредственно на рабочих местах. Старшим на участке работ во время смены является командир сменяемого формирования. Смена формирований производится в следующей последовательности.

Прибывшее формирование останавливается вблизи от участка (объекта) работ. Командир прибывшего формирования должен доложить начальнику ГО объекта о прибытии и получить от него разрешение на смену. Затем командир сменяемого формирования знакомит вновь прибывшего командира с обстановкой, указывает места работ и условия их выполнения, места погрузки пораженных на транспорт, пункты и маршруты их эвакуации, места укрытия личного состава, порядок поддержания связи с подчиненными и приданными подразделениями, а также начальником ГО объекта.

Прибывший командир уясняет задачу, оценивает обстановку, принимает решение и отдает приказ личному составу на проведение спасательных работ. Получив задачу, личный состав вновь прибывшего формирования убывает к местам работ, где производится смена непосредственно на рабочих местах.

Сменяемый командир формирования проверяет наличие людей, техники и имущества, а также пишет донесение на имя начальника ГО объекта. В донесении указывается перечень выполненных работ, количество эвакуируемых людей из участка работ, величины доз облучения, полученные личным составом формирования в ходе работ.

После доклада начальнику ГО объекта о приеме-сдаче участка сменяемый командир формирования выводит личный состав из очага поражения.

8.7 Организация и проведение специальная обработка

Специальная обработка представляет комплекс мероприятий, проводимых с целью восстановления готовности техники, транспортных средств и личного состава формирований к выполнению задач по проведению СИДНР в очагах поражения. Она может быть полной или частичной. Полная спецобработка проводится с целью обеспечения возможности выполнять работы без средств

защиты кожи и органов дыхания. Частичная спецобработка должна обеспечить возможность действовать без средств защиты кожи при соприкосновении с обеззараженными поверхностями.

Специальная обработка включает обеззараживание различных поверхностей, санитарную обработку личного состава формирований и населения.

Пункт специальной обработки состоит из четырёх участков. На первом участке проводится полная санитарная обработка личного состава формирований и населения, а на других участках – полное обеззараживание техники, транспортных средств, имущества.

Участок для проведения полной санитарной обработки включает в себя отделения документов и ценностей, склада чистой одежды, медицинского пункта.

Санитарная обработка – это комплекс мероприятий по ликвидации заражения личного состава формирований и населения радиоактивными и отравляющими веществами или бактериальными средствами. Она подразделяется на частичную и полную. Под частичной санобработкой, подразумевается механическая чистка и обработка открытых участков кожи, наружной поверхностей одежды, обуви, СИЗ, находящихся на человеке. Полная санитарная обработка – это обеззараживание тела человека дезинфицирующей рецептурой, обмывкой людей со сменой белья и одежды. Целью обработки является полное обеззараживание от радиоактивных и отравляющих веществ, а также бактериальных средств, поверхности тела и слизистой оболочек, одежды, обуви, СИЗ. Полной санобработке подлежат эвакуируемое население и личный состав формирования после выхода из очагов поражения (зон заражения).

Если формирования действуют совместно с подразделениями частей ГО, то специальная обработка проводится на пунктах специальной обработки (ПуСО), развертываемых частями гражданской обработки.

Личный состав формирований из района ожидания прибывает на контрольно-распределительный пункт, сдает документы и ценности, затем следует в раздевальное помещение, в обмывочном – проходит санитарную обработку, одевается, получает документы и ценности, при необходимости проходит осмотр врачей и следует в район сбора.

Обеззараживание – выполнение работ по дезактивации, дегазации и дезинфекции зараженных поверхностей.

Дезактивация – удаление радиоактивных веществ с зараженных поверхностей техники и транспортных средств, зданий и сооружений, территории, одежды и других поверхностей. Она проводится в тех случаях, когда степень заражения превышает допустимые уровни. Например, дезактивация техники и транспортных средств проводится при их заражении 200 мР/ч и более. Дезактивация проводится двумя способами: механическим и физико-химическим. Механический способ – это удаление радиоактивных веществ с зараженных поверхностей сметанием, вытряхиванием и т.п. Физико-химический способ основан на применении растворов специальных препаратов,

которые позволяют осуществлять более эффективную обработку.

Таковыми препаратами является: кислоты и щелочи, комплексообразующие вещества. К первым относят фосфаты натрия, щавелевая и лимонные кислоты, соли этих кислот; ко вторым – порошок СФ-2, и препараты ОП-7 (10).

Дезактивация техники и транспортных средств, зданий и сооружений проводится обмыванием водой. Обмыв начинается сверху вниз.

Дезактивация территории может проводиться смыванием РВ струей воды или сметанием этих веществ уборочными машинами. Такой способ применяется в том случае, когда имеется твердое покрытие (асфальт, бетон). Территория, не имеющая твердого покрытия, дезактивируется путем срезания зараженного слоя грунта толщиной 5-10 см; засыпкой зараженных участков территории слоем незараженного грунта толщиной 8-10 см; перепахиванием зараженной территории тракторными плугами на глубину до 20 см.

Продовольствие и пищевое сырье дезактивируются путем обработки или замены зараженной тары, а незатаренные – путем снятия зараженного слоя.

Дегазация представляет собой разложения отравляющих веществ (ОВ) до нетоксичных продуктов и удаление их с зараженных поверхностей. Она производится с помощью специальных технических средств: приборов, комплектов, поливомоечных машин с применением дегазирующих веществ, а также воды, моющих растворов. К дегазирующим веществам относятся: химические соединения, которые вступают в реакцию с ОВ и превращают их в нетоксичные соединения.

Дегазация техники и транспортных средств проводятся путем обработки дегазирующим раствором (№1 или №2) с помощью технических средств дегазации или протиранием кистью (ветошью), смоченными в растворах. Дегазирующий раствор №1 представляет собой 2%-ный раствор дихлорамина в дихлорэтане, а №2 раствор 2%-ного едкого натра, 5%-ного моноэталамина и 25%-ного аммиака в воде. При отсутствии растворов ОВ смывают растворителями (бензин, керосин, дизтопливо).

Дегазация территории с твердым покрытием, зараженной нервно-паралитическими и кожно-нарывными ОВ, производится обработкой раствором едкого натрия (щелочью) и хлорной извести соответственно.

Дезинфекция – уничтожение во внешней среде возбудителей заразных болезней. Различают профилактическую, текущую и заключительную дезинфекцию. Профилактическая дезинфекция проводится до возникновения заболеваний населения путем использования моющих и чистящих средств. Текущая дезинфекция – обязательное противоэпидемическое мероприятие, которое предусматривает выполнение санитарно-гигиенических мероприятий в очаге и обеззараживание различных объектов внешней среды. Заключительная дезинфекция проводится в очагах после госпитализации больного или после его смерти. Выполняют ее бригады дезинфекционных станций или дезинфекционных отделений центров гигиены и эпидемиологии.

Дезинфекция может проводится химическим, физическим, механическим и комбинированным способами. Химический способ – уничтожение болезнетворных микробов и разрушение токсинов дезинфицирующими

веществами. Физический способ дезинфекции – кипячение белья, посуды, уборочного материала, предметов ухода за больными и др. Применяется в основном при кишечных инфекциях. Механический способ дезинфекции осуществляется теми же приемами, что и дегазация. Он предусматривает удаление зараженного слоя грунта или устройство настилов.

Проверка полноты дезактивации и дегазации осуществляется с помощью приборов, а дезинфекции – проведением бактериологического исследования.

9. Организация обучения населения по гражданской обороне

9.1 Задачи и организация обучения населения

Обучение ГО является всеобщим и обязательным для граждан Республики Беларусь. Его необходимость вызвана требованиями Женевской конвенции ООН 1947 года, которую ратифицировала и наша республика, а также возможным последствием аварий, катастроф на ОНХ и стихийных бедствий, применения современных военных средств поражения.

Задачи обучения населения по ГО в наиболее общем виде следующие: все население страны обучается практическому строительству в короткие сроки противорадиационных, а также простейших укрытий типа щелей и приспособлений под них, подвалов и других заглубленных помещений; правилам поведения и действиям по сигналам гражданской обороны; умению пользоваться средствами индивидуальной и коллективной защиты; оказанию самопомощи и взаимопомощи в очагах поражения; способам защиты и обеззараживания одежды, продуктов питания и воды.

Трудоспособное население, в первую очередь рабочие и служащие объектов народного хозяйства, входящие в формирования ГО, обучается, кроме того, ведению спасательных и других неотложных работ в очагах поражения (ведению радиационной и химической разведки, тушению пожаров, ликвидации производственных аварий, обеззараживанию техники и местности, а также ведению других работ, связанных со спасением и оказанием помощи пораженным).

Население сельской местности обучается самозащите, защите сельскохозяйственных животных и растений, фуража, воды и водоемисточников от радиоактивного, химического и бактериологического заражения, а также СидНР в пораженных городах.

В чрезвычайных ситуациях действия отдельных категорий населения будут различными, поэтому и подготовка их по ГО должна быть различной.

Для организации обучения все население республики условно делится на пять категорий: руководящий и командно-начальствующий состав; личный состав невоенизированных формирований ГО (НФГО); работающее население,

но не входящее в состав формирований ГО; население, не занятое в сфере производства и обслуживания; учащаяся молодежь.

Обучение населения организуется и производится по территориально-производственному принципу.

За обучение по ГО ответственность несут исполнительные органы власти, а также руководители ОНХ. Непосредственно организуют обучение всех категорий населения, за исключением учащейся молодежи, штабы ГО различных степеней. Обучение по ГО учащейся молодежи осуществляется по учебным программам, утвержденным Министром образования.

Наряду с традиционными видами занятий, такими как лекция, практическое занятие, семинар, широко применяются тактико-специальные занятия, различные виды тренировок, учения и другие.

Наиболее действенными формами практической подготовки являются различные виды учений: тактико-специальные, командно-штабные и комплексные. Их особенностями является то, что при их проведении в процесс обучения вовлекается значительное число людей, различные категории населения. Так, например, при проведении комплексного учения района привлекаются практически все категории населения части городского района. В тактико-специальных учениях обычно участвуют руководящий и командно-начальствующий состав, личный состав невоенизированных формирований.

К руководящему составу относят должностных лиц органов исполнительной власти и объектов народного хозяйства, непосредственно несущих ответственность за гражданскую оборону.

Например, на предприятии к руководящему составу относят: директора, заместителей директора, начальников служб, главных специалистов, начальников цехов и т.д.

Командно-начальствующий состав включает командиров различных формирований ГО и их подразделений.

Руководящий и командно-начальствующий состав обучается: на курсах ГО, на учебно-методических сборах, проводимых территориальными и ведомственными органами ГО; на курсах повышения квалификации; непосредственно на объектах.

На курсах ГО обучаются один раз в 3-5 лет, в том числе на городских – 21-24 часа, на областных, республиканских – 35 часов, а штатные работники штабов ГО – до 70 часов. На районных и межрайонных курсах ГО обучается командно-начальствующий состав ежегодно 1-5 дней.

На курсах повышения квалификации, на которые привлекаются выпускники высших учебных заведений один раз в 5-8 лет, также изучаются отдельные вопросы ГО в части, касающейся практической работы по основной специальности.

Непосредственно на ОНХ руководящий и командно-начальствующий состав обучается по программе, рассчитанной на 15 часов в год. При этом выбор тем для обучения каждый учебный год определяется приказом начальника ГО ОНХ. В процессе обучения часть руководящего и командно-начальствующего состава может участвовать в штабных тренировках. Весь командно-начальствующий состав невоенизированных формирований ГО проводит и участвует в тактико-специальном учении.

Исполнительные органы власти районов, городов, областей обычно проводят командно-штабные учения один раз в 1-5 лет. В них обычно участвуют руководители соответствующих органов власти, руководители ОНХ, штабов и служб ГО, председатели эвакуационных комиссий, командно-начальствующий состав формирований ГО и др. Кроме того, исполнительные органы районов, городов, а также руководители крупных ОНХ проводят комплексные учения один раз в 3-5 лет, отрабатывая вопросы взаимодействия ОНХ и органов управления ГО при действиях в чрезвычайных ситуациях.

В высших звеньях управления республики наиболее эффективной формой обучения являются командно-штабные игры. Они могут проводиться по картам, с использованием вычислительной техники и развивают у руководителей инициативу, оптимальность в принятии решений, творчество.

Руководящий и командно-начальствующего состава ГО совершенствует также свое знания путем самостоятельной работы, участвуя в пропаганде ГО в средствах массовой информации, лично проводя занятия с различными категориями обучаемых и т.д.

Личный состав формирований ГО, а также специальные формирования Министерств и Ведомств обучаются по специальным программам. Невоенизированные формирования ГО обучаются на объектах ежегодно в объеме 15 часов; обучение состоит из общей и специальной подготовки, т.е. занятия проводятся по общим и специальным темам. Руководителями занятий назначаются наиболее подготовленные специалисты. Однако соблюдается и традиционный принцип: командир формирования (подразделения) учит своих подчиненных.

Основу обучения личного состава НФГО составляет практическая подготовка, а основным видом занятий являются тактико-специальные. Основная задача подготовки – научить личный состав НФГО проведению СидНР в чрезвычайных ситуациях.

Завершается подготовка проведением тактико-специального учения продолжительностью до 8 часов. С формированиями повышенной готовности они проводятся ежегодно, с остальными – один раз в 3 года.

Для поддержания высокой готовности формирований проводится не менее двух тренировок в год по сбору личного состава. Личный состав НФГО участвует в комплексных тактических учениях один раз в 3-5 лет.

Обучение рабочих и служащих, не входящих в формирования, проводится ежегодно в объеме 15 часов. При этом используются различные виды обучения: занятия в составе учебных групп; самостоятельная работа; участие в обязательных практических тренировках; итоговый зачет по знаниям и практическим навыкам.

Тематику, вид занятий и время их проведения определяет начальник ГО объекта.

В помощь изучающим ГО самостоятельно на ОНХ создаются консультационные пункты. Для проведения консультаций привлекаются работники штаба ГО, наиболее подготовленные специалисты.

Ответственность за подготовку этой категории рабочих и служащих на объекте несут руководители соответствующих подразделений.

Для отработки нормативов проводятся обязательные тренировки, в частности по таким вопросам: действия по сигналу "Внимание всем!"; действия при возможной аварии на объекте; заполнение защитного сооружения и выход из него; герметизация помещений; оказание первой медицинской помощи пострадавшим; получение СИЗ и т.д.

В конце учебного года специальная комиссия принимает у каждого человека итоговый зачет.

Рассматриваемая категория населения может участвовать в комплексном тактическом учении.

Неработающее население обучается ГО самостоятельно. Для этого через домоуправления, ЖЭСы эта категория обеспечивается памятками. Кроме того, в помощь этой категории населения создаются при домоуправлениях и ЖЭСах консультационные пункты, уголки по ГО и другая наглядная пропаганда. Эта категория населения также изучает ГО с помощью передач по радио, телевидению, кино, посещая лекции и т.д.

В том случае, если домоуправление или ЖЭС участвует в комплексном учении, то участвует в нем и неработающее население в качестве наблюдателей.

Для подготовки учащейся молодежи в республике имеется около 6 тысяч школ всех уровней, более 200 ПТУ, СПТУ, техникумов, колледжей, около 50 вузов. В общеобразовательных школах ГО изучается:

- во 2 классе – 2 часа;
- в 5 классе – 6 часов.

Кроме того проводятся тренировки по надеванию респираторов, противогазов и действиям в чрезвычайных ситуациях. Тематика по ГО в школе предусматривает изучение СИЗ, средств коллективной защиты и простейших способов защиты людей в чрезвычайных ситуациях.

В 9 и 10 (10 и 11) классах занятия проводятся военруком в объеме 18 и 14 часов соответственно.

Учащиеся СПТУ, ПТУ, техникумов и колледжей обучаются по аналогичным программам.

Студенты высших учебных заведений ГО изучают дифференцировано в зависимости от категории вуза и профиля подготовки. Так, во всех технических вузах на изучение ГО отводится 50 часов учебного времени; в гуманитарных вузах – 360 часов, где основное время посвящено медицинской подготовке.

9.2 Организация и проведение тактико-специальных занятий и учений

9.2.1 Подготовка и проведение тактико-специальных занятий (ТСЗ)

На ТСЗ командно-начальствующий состав совершенствует свои навыки в уяснении задачи, отдаче распоряжений, организации управления и взаимодействия формирований. Личный состав обучается практическим приемам и способам выполнения спасательных и других неотложных работ или обеспечения их проведения в зависимости от предназначения, а формирования в целом обучаются слаженным действиям. Подготовка ТСЗ – сложный и трудоемкий процесс, требующий от командиров кропотливой работы, творчества, методического опыта и глубоких теоретических знаний.

Подготовка занятий включает: выбор темы, учебных вопросов и места проведения занятий; уяснение учебных целей; определение состава обучаемых (группа, звено), времени и продолжительности занятия; определение количества и видов техники, механизмов, приборов, других материальных средств, необходимых для проведения занятий; расчет возможного расхода ресурсов и имитационных средств; рекогносцировку места проведения занятия; разработку плана проведения занятия и других методических материалов; подготовку руководителя и привлекаемых лиц на занятие; уточнение мер безопасности обучаемых при проведении занятия.

Руководителю занятия рекомендуется выносить для отработки на занятие не более двух-трех вопросов, план (план-конспект) занятия утвердить у старшего начальника не позднее чем за 2-3 дня до его начала, дать заявку в соответствующие службы на технику, механизмы и имущество, при необходимости за 1-2 дня до начала занятия провести инструкторско-методическое занятие (инструктаж) с привлекаемыми на ТСЗ.

Условно проведение занятия можно разделить на следующие этапы: проверка наличия обучаемых, техники, имущества, СИЗ; проверка исправности выделенной техники, механизмов и приборов; проверка знаний обучаемых, их готовности к занятиям, мер безопасности при работе на технике; объявление руководителем темы учебных вопросов, продолжительности и организации занятия; инструктаж по технике безопасности с росписью обучаемых в специальных журналах; последовательная отработка вопросов, вынесенных на

занятия (при необходимости с многократным повторением действий обучаемых, отдельных операций); подведение итогов занятия (руководитель отмечает положительные примеры действий, ошибки и недостатки, объявляет оценки каждому обучаемому, ставит задачи, кому и над чем работать).

9.2.2 Подготовка и проведение тактико-специальных учений

Тактико-специальные учения являются одной из важнейших форм обучения и преследуют две цели: получить навыки совместных и слаженных действий формирования и проверить уровень его практической подготовки.

На обучении обычно отрабатываются комплексные темы, а основной формой обучения являются практические действия обучаемых. Учение проводится или на объекте или на учебном полигоне, и формирование участвует в нем в полном составе.

Для подготовки и проведения учения с такими крупными формированиями, как сводные и спасательные отряды создается штаб руководства, с другими формированиями – группы управления.

Подготовка ТСУ включает: уяснение руководителями задач и целей учения; выбор и рекогносцировку района учения; разработку учебно-методических документов; подготовку руководства, посредников и обучаемых; оборудование района учения; организацию и проведение мероприятий по материально-техническому обеспечению; организацию имитации, комендантской службы и мер безопасности.

Руководитель учения планирует отработать на учении, как правило, одну комплексную тему, при этом он четко должен уяснить, какие цели должны быть достигнуты. Он должен учитывать уровень подготовленности обучаемых, другие объективные и субъективные факторы, выбрать главные вопросы для отработки на учении.

Рекогносцировку района учения штаб руководства проводит в полном составе, для чего выезжает в район проведения учения, где оценивает на месте возможности отработки всех вопросов учения, определяет степень дооборудования района учений.

Для проведения учений разрабатываются следующие документы: приказ начальника ГО объекта; календарный план подготовки учения; план проведения учения; частные планы заместителей и посредников; план имитации, приложения (схемы, таблицы, графики и т.п.).

В календарном плане обычно имеются организационные указания, перечислены основные мероприятия, сроки выполнения и исполнители.

В плане проведения учения излагается замысел и ход учения, последовательность отработки учебных вопросов, этапы учения, характер

вводных, состав обучаемых, задачи каждого члена штаба руководства (заместителей, посредников, помощников) и др. План проведения учения разрабатывается текстуально или на карте (схеме), возможно и сочетание этих вариантов. Другие вопросы подготовки учения направлены на то, чтобы учение носило неформальный характер, обстановка была близкой к реальной.

Проведение учения включает следующие этапы: оповещение и сбор участников учения; проверка экипировки, наличия и исправности техники, доведение руководителем учения до обучаемых исходной обстановки, задачи учения; смену формирований; разбор учения.

В ходе учения участникам предоставляется максимум инициативы, самостоятельности в принятии решений, творческого применения теории в практических действиях и т.д.

Сбор информации и оценку действиям обучаемых дают посредники. Посредники не имеют права вмешиваться в действия обучаемых за исключением случаев, когда имеют место грубые нарушения мер безопасности, возможна порча техники, угроза здоровью и жизни людей. Посредники имеют право на определенных этапах учения давать вводные задания и оценивать их выполнение при разборе учения. Обстановка на учении создается максимально приближенной к реальной. Она должна вытекать из условий, которые могут сложиться в очагах аварий, катастроф, стихийных бедствий и поражения. Она должна носить элементы напряженности, обоснованной опасности, риска, но не нарушая мер безопасности.

В ходе учения внимание уделяется не только уровню профессиональной, но и морально-психологической подготовки. Именно на учении поэтому важна роль различных средств имитации.

Учение целесообразно заканчивать сменой формирований или постановкой задачи на их смену, а при необходимости и специальной обработкой.

Во время разбора учения дается оценка действиями командиров и каждому подразделению с учетом данных посредников и других членов штаба руководства. Отмечаются положительные стороны и недостатки, ставятся задачи на их устранение.

9.3 Планирование подготовки населения по гражданской обороне и учебно-материальная база на объектах народного хозяйства

Учебный год в системе ГО длится со 2 января по 30 октября текущего года. Октябрь и ноябрь месяцы подготовительного периода. В этот период осуществляется планирование, проводятся учебно-методические сборы, показательные учения, подводятся итоги, ставятся задачи, подбираются и готовятся

руководители занятий, совершенствуется учебно-материальная база.

Итоги боевой подготовки по ГО за прошедший учебный год и задачи на новый определяются приказом начальника ГО объекта.

Основным планирующим документом является план подготовки, который разрабатывается штабом ГО объекта на весь учебный год и утверждается начальником ГО объекта. В соответствии с планом подготовки создаются учебные группы и составляются расписания занятий для каждой учебной группы и формирования.

Штаб ГО объекта организует и ведет учет проводимых занятий. С этой целью ведутся журналы учета занятий со всеми категориями обучаемых. Ответственность за ведение учета возлагается на начальников штабов ГО объектов.

Объект народного хозяйства является тем основным звеном, от подготовки которого в конечном итоге зависит готовность всей системы ГО республики. Поэтому на каждом ОНХ для организации подготовки формирований и обучения населения гражданской обороне на уровне современных требований создается учебно-материальная база, которая состоит из учебных городков, натуральных участков, учебных пунктов, классов и других мест занятий.

Учебный городок является основной учебно-материальной базой, способствующей выполнению задач подготовки формирований ГО.

В учебном городке проводятся практические и тактико-специальные занятия, а также тактико-специальные учения. Рабочие и служащие сдают здесь нормативы по практическому обучению населения защите от оружия массового поражения.

Городок подразделяется на четыре основных участка: исходный район; участок ведения спасательных работ; участок ведения других неотложных работ; участок санитарной обработки людей и обеззараживания техники.

В исходном районе оборудуются укрытия для формирований автотранспорта и техники, места сбора формирований и посадки на транспорт. Из исходного района формирования следуют в очаг поражения.

На участке ведения спасательных работ должно быть несколько разрушенных зданий различной конструкции, убежище или элемент его, участок дороги с различным покрытием, площадки для оказания первой медицинской помощи. Здесь отрабатываются приемы и способы тушения пожаров, расчистки завалов, проделывания проходов и проездов, отыскание и вынос пострадавших, установление связи с укрывшимися в убежищах, дезактивация проездов, проходов, мест спасательных работ.

На участке проведения других неотложных работ должны быть элементы коммунально-энергетического хозяйства. Здесь отрабатываются приемы и способы ведения этих работ на различных сетях.

На участке санитарной обработки людей и обеззараживания техники

создаются площадки для санитарной обработки людей, а также для обеззараживания транспорта и техники, приборов, одежды, обуви.

Натурный участок – это элемент учебного городка, который предназначается для отработки какой-то определенной группы вопросов на местности.

Перед занятием натурный участок готовится так, чтобы он отвечал всем требованиям цели занятий с учетом профиля подготовки формирований ГО.

Учебный пункт ГО объекта должен обеспечивать проведение не только теоретических, но и практических занятий и тренировок в объеме программ обучения всех категорий населения, а также по основным темам программы подготовки формирований ГО. Учебные пункты оборудуются, как правило, в убежищах. Каждый отсек (комната) убежища оборудуется по какому-то разделу экспозиции учебного пункта: средства коллективной или индивидуальной защиты; связи и оповещения; и т.п.

Все содержание учебного пункта должно убеждать обучаемых в наличии реальных возможностей защиты от поражающих факторов в ЧС.

Учебные места создаются для практического обучения формирований ГО и сдачи нормативов рабочими, служащими, колхозниками. Они создаются в убежищах, в ПРУ, на площадках первой медицинской помощи, тушения пожаров, на участках дороги, в душевых пунктах, моечных пунктах транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности: Кр. Консп. Лекций / Под ред. О.Н. Русака. – С. – Пб, 1992.
2. Защита населения и объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях: Учебник для вузов / Под ред. М.И. Постника. – Мн.: Універсітэцкае, 1997.
3. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справ. / Г.П. Демиденко и др. – Київ: Висш. шк., 1989.
4. Михно Н.А. Стихийные явления в природе: Проявления, эффективности защиты. – М.: Мысль, 1988.
5. Алексеев Н.А. Стихийные явления в природе: Проявления, эффективность защиты. – М.: Мысль, 1988.
6. Перфи́рьев Б.Н. Государственное управление в чрезвычайных ситуациях: Анализ методологии и проблема организации. – М.: Наука, 1991.
7. Защитные сооружения гражданской обороны: Устройство и эксплуатация: Уч. пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
8. Брушлинский Н.Н., Селиков В.Л. Концепция системы обеспечения безопасности народного хозяйства. – Пожарное дело, 1990, № 12.
9. Каммерер Ю.Ю., Харкевич А.Е. Аварийные работы в очагах поражения. – М., Энергоатомиздат, 1990.
10. Маршал Л.В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989.
11. Михно Е.П. Ликвидация последствий аварий и стихийных бедствий. – М.: Атомиздат, 1979.
12. Перфи́рьев Б.Н. Организация управления в чрезвычайных ситуациях. – М.: Знание, 1989, № 5.
13. Защита от оружия массового поражения: Справочник / Под ред. В.В. Мясникова. – М.: 1984.
14. Атаманюк В.Г. и др. Гражданская оборона: Учебник для вузов. М.: Высш. шк. 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Характеристика чрезвычайных ситуаций и причины их возникновения.....	107
1.1	Понятие о чрезвычайных ситуациях и их классификация.....	107
1.2	Природные чрезвычайные ситуации, характерные и для Республики Беларусь.....	110
1.3	Действия населения при стихийных бедствиях.....	111
2.	Характеристика очага ядерного поражения.....	114
2.1	Поражающие факторы при взрыве ядерного боеприпаса и при аварии на радиационно опасном объекте.....	114
2.2	Воздействие поражающих факторов ядерного взрыва на человека и промышленные здания (сооружения).....	117
3.	Характеристика очага химического поражения.....	119
3.1	Характеристика сильнодействующих ядовитых веществ.....	119
3.2	Отравляющие химические вещества как оружие классового поражения.....	121
3.3	Формирование зоны химического заражения.....	123
4.	Характеристика очага бактериологического (биологического) поражения.....	124
4.1	Краткая характеристика биологических очагов.....	124
4.2	Характеристика некоторых очагов особо опасных инфекций.....	125
4.3	Организация помощи пострадавшим в очагах биологического поражения.....	125
4.4	Очаги комбинированного поражения.....	127
5.	Организационная структура и задачи по защите населения и объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях.....	128
5.1	Организационная структура и задачи гражданской обороны.....	129
5.2	Силы гражданской обороны.....	131
5.3	Система оповещения гражданской обороны.....	133
6.	Защита населения в чрезвычайных ситуациях.....	135
6.1	Принципы обеспечения безопасности и защиты населения.....	135
6.2	Основные способы защиты населения.....	136
7.	Устойчивость работы промышленных объектов в особый период.....	143
7.1	Понятие об устойчивости работы промышленного объекта народного хозяйства.....	143
7.2	Оценка устойчивости работы промышленного объекта.....	144
7.3	Основные направления и мероприятия по повышению устойчивости работы объекта в особый период.....	150
7.4	Нормы проектирования инженерно-технических мероприятий гражданской обороны.....	151
8.	Спасательные и другие неотложные работы в очагах поражения.....	153
8.1	Основы спасательных и других неотложных работ.....	153
8.2	Проведение СидНР в очаге поражения.....	155
8.3	Спасательные работы в очагах химического и	

	бактериологического (биологического) поражения.....	158
8.4	Ведение спасательных и других неотложных работ при ликвидации последствий стихийных бедствий.....	159
8.5	Содержание работы командира формирования по организации и проведению спасательных работ.....	162
8.6	Виды обеспечения формирований и населения в очагах поражения.....	163
8.7	Организация и проведение специальная обработка.....	165
9.	Организация обучения населения по гражданской обороне.....	168
9.1	Задачи и организация обучения населения.....	168
9.2	Организация и проведение тактико-специальных занятий и учений.....	172
9.2.1	Подготовка и проведение тактико-специальных занятий.....	172
9.2.2	Подготовка и проведение тактико-специальных учений.....	173
9.3	Планирование подготовки населения по гражданской обороне и ее учебно-материальная база.....	174
	Литература.....	177

Св. план 2000, поз 7 (вед)

Учебное издание

Авторы: Асаенок Иван Степанович
Лубашев Леонтий Павлович
Навоша Адам Имполитович

Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных
ситуациях.

Учебное пособие по дисциплине "Защита населения
и объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях"
для студентов всех специальностей

Редактор Т.Н. Крюкова

Подписано в печать

1/16

Бумага

Уч. – изд. л. 4,7 Тираж 500 экз

Формат 60×84

Печать офсетная. Усл. печ. л.

Заказ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Отпечатано в БГУИР. Лицензия ЛП №156. 220027, Минск, П. Бровки, 6