

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра экологии

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В трех частях

Часть 2

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Рекомендовано УМО по образованию
в области информатики и радиоэлектроники
в качестве учебно-методического пособия
для всех специальностей I ступени
высшего образования, закрепленных за УМО*

Минск БГУИР 2017

УДК [355.58+621.039.58](076)

ББК 68.69я73+31.42я73

Б40

Авторы:

Д. А. Мельниченко, М. М. Бражников, Е. Н. Зацепин,
А. С. Калинович, П. В. Камлач, А. П. Ключев, А. М. Прудник

Рецензенты:

кафедра естественных наук государственного учреждения образования
«Командно-инженерный институт»
(протокол №3 от 06.11.2015);

профессор кафедры экологии Белорусского национального технического
университета, доктор биологических наук, профессор С. А. Хорева

Безопасность жизнедеятельности человека. В 3 ч. Ч. 2 : Защита
населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная без-
опасность : учеб.-метод. пособие / Д. А. Мельниченко [и др.]. – Минск :
БГУИР, 2017. – 98 с. : ил.

ISBN 978-985-543-297-6 (ч. 2).

Данное учебно-методическое пособие способствует формированию у студен-
тов умений осуществлять выбор методов по снижению риска негативных послед-
ствий воздействия чрезвычайных ситуаций.

Содержит примеры решения задач с использованием изложенных методик и
варианты задач для самостоятельной работы студентов.

Часть 1-я издана в БГУИР в 2017 г.

УДК [355.58+621.039.58](076)

ББК 68.69я73+31.42я73

ISBN 978-985-543-297-6 (ч. 2)

ISBN 978-985-543-197-9

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2017

Содержание

Практическая работа №1. Основные понятия о радиоактивности.....	4
Практическая работа №2. Прохождение ионизирующих излучений через вещество и защита от них.....	13
Практическая работа №3. Дозиметрические величины и их единицы....	21
Практическая работа №4. Оценка радиационной обстановки.....	29
Практическая работа №5. Оценка надежности защиты производственного персонала в чрезвычайных ситуациях	38
Практическая работа №6. Оценка устойчивости работы промышленного объекта в чрезвычайных ситуациях	56
Практическая работа №7. Оценка химической обстановки в чрезвычайных ситуациях	75
Приложения.....	87

Библиотека БГУИР

Практическая работа №1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О РАДИОАКТИВНОСТИ

Теоретический материал

Во многих областях практической деятельности человека используются источники ионизирующих излучений. Непрерывно расширяется сфера их применения в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, научных исследованиях. Растет круг лиц, постоянно работающих с источниками и полями ионизирующих излучений. Все это приводит к возрастанию потенциальной радиационной опасности и возможности загрязнения окружающей среды продуктами радиоактивного распада. С последствиями реализации этой потенциальной опасности уже пришлось столкнуться очень большому числу людей.

В результате катастроф на Чернобыльской АЭС в 1986 году и на АЭС в Фукусиме в 2011 году в природную среду было выброшено огромное количество радиоактивных веществ. Биосфера Земли – это единый взаимосвязанный организм, и отгородиться от зараженных территорий, источников радиоактивности, перекрыть все пути их поступления в организм человека невозможно. Однако уменьшение степени воздействия – решаемая проблема.

Важнейшую роль в этом должно сыграть информирование населения страны, понимание потенциальной опасности радиоактивного заражения и способов защиты от воздействия ионизирующих излучений, а также основных положений радиационной гигиены.

Атом – наименьшая частица химического элемента, обладающая всеми его свойствами. Атом состоит из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него электронов. Ядро состоит из элементарных частиц – протонов и нейтронов. Протон имеет положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду атомного электрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл), а нейтрон электрически нейтрален. Атом электрически нейтрален, так как количество протонов в ядре равно числу электронов на орбитах.

Число протонов в ядре называется атомным номером и обозначается буквой Z . Оно совпадает с порядковым номером химического элемента в периодической системе Менделеева. Очевидно, что заряд ядра равен $Z \cdot e$, поэтому число Z называется также зарядовым числом ядра.

Нейтрон электрически нейтрален. Протоны и нейтроны объединяют общим названием – нуклоны. Общее число нуклонов в ядре называют массовым числом A_m , или атомной массой:

$$A_m = Z + n_e, \quad (1.1)$$

где n_e – количество нейтронов в ядре.

Чтобы охарактеризовать химический элемент, используют его символ X и указывают атомный номер и массовое число ядра: ${}^A_m X$.

Например, обозначение ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ показывает, что ядро атома плутония содержит 94 протона и 145 нейтронов ($239 - 94 = 145$).

Изотопы – ядра одного химического элемента, т. е. ядра с одинаковым числом протонов, но содержащие различное число нейтронов (${}_{6}^{11}\text{C}$, ${}_{6}^{12}\text{C}$, ..., ${}_{6}^{16}\text{C}$ – изотопы углерода).

Изобары – атомные ядра с одинаковым числом нуклонов (${}_{16}^{36}\text{S}$ и ${}_{18}^{36}\text{Ar}$ содержат по 36 нуклонов, но 16 и 18 протонов соответственно).

Изотоны – атомы различных химических элементов с одинаковым числом нейтронов (${}_{2}^{5}\text{He}$, ${}_{3}^{6}\text{Li}$, ${}_{4}^{7}\text{Be}$, ${}_{5}^{8}\text{B}$ содержат по три нейтрона).

Как известно, одноименно заряженные частицы отталкиваются. Поэтому наличие в ядре нескольких положительно заряженных протонов свидетельствует о существовании специфических ядерных сил притяжения, которые преобладают над электрическими силами отталкивания протонов. Эти силы обеспечивают стабильность ядер. Поэтому ядерными силами называются силы, связывающие протоны и нейтроны в ядре.

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

$$M < Z m_p + (A_m - Z) m_n, \quad (1.2)$$

где m_p , m_n – масса покоя протона и нейтрона соответственно.

Согласно формуле Эйнштейна масса m и энергия E связаны соотношением

$$E = mc^2. \quad (1.3)$$

Сопоставляя выражения (1.2) и (1.3), можно сделать вывод, что при образовании ядра выделяется некоторая энергия. Соответственно такое же количество энергии необходимо затратить для разделения ядра на отдельные нуклоны. Энергия связи ядра – это энергия, которую необходимо затратить для расщепления ядра на составляющие его нуклоны без придания им кинетической энергии. Следует подчеркнуть, что энергия связи не содержится в самом ядре. Это энергия, которой не достаёт ядру по сравнению с суммарной энергией покоя составляющих его нуклонов.

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

$$\Delta E_{\text{св}} = E_{\text{св}} / A_m. \quad (1.4)$$

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

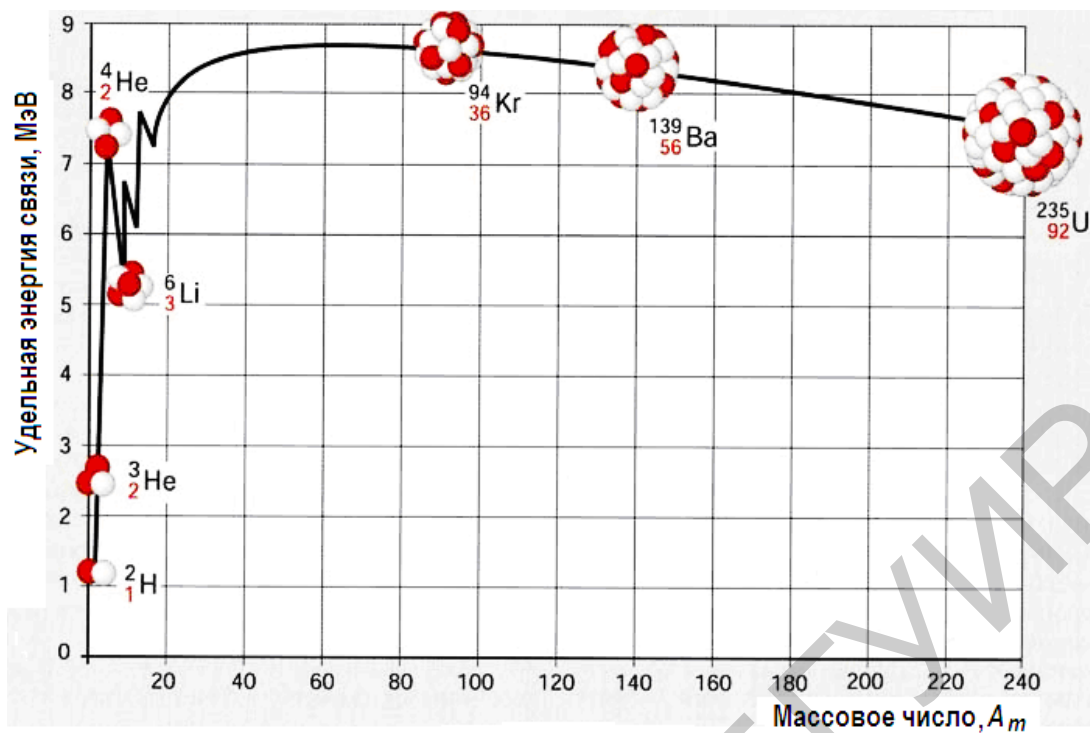


Рис. 1.1. Зависимость удельной энергии связи от массового числа

С увеличением значения A_m удельная энергия связи сначала возрастает и выходит на насыщение (примерно 8 МэВ/нуклон) при $A_m = 15$. При A_m более 60 значение $\Delta E_{\text{св}}$ медленно спадает. Следовательно, наиболее устойчивыми являются ядра элементов в середине периодической таблицы, т. е. те, у которых наибольшая удельная энергия связи.

Энергетически выгодны процессы синтеза легких ядер в более тяжелые и деления тяжелых ядер на более легкие. Примером синтеза легких ядер в более тяжелые с выделением энергии является взрыв водородной бомбы. Деление тяжелых ядер с выделением энергии используется на АЭС и в ядерном боеприпасе.

Ядро, имеющее наименьшую возможную энергию, равную энергии связи, называют находящимся в основном состоянии. Если ядро имеет энергию $E < E_{\text{min}}$, то говорят о возбужденном состоянии ядра. Случай, когда $E = 0$, соответствует распаду его на составляющие нуклоны. Следовательно, ядра атомов могут быть неустойчивыми. Такие неустойчивые ядра имеются в радиоактивных веществах.

Вещество является радиоактивным, если оно содержит радионуклиды и в нем идет процесс радиоактивного распада. Под радионуклидом понимают радиоактивное ядро с присущими ему Z и A_m . Процесс самопроизвольного превращения неустойчивых ядер одного химического элемента в ядра другого элемента сопровождается испусканием элементарных частиц или излучением квантов энергии. Интенсивность данного процесса не поддается управлению и определяется исключительно индивидуальными физическими свойствами самих радионуклидов.

Самопроизвольный распад атомных ядер подчиняется закону

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1.5)$$

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

$$\lambda = (1/N)(dN/dt). \quad (1.6)$$

Для характеристики устойчивости ядер к распаду пользуются понятием периода полураспада $T_{1/2}$. Он равен времени, в течение которого исходное количество радионуклидов данного вещества уменьшается в 2 раза, т. е. $N = N_0/2$.

Связь между $T_{1/2}$ и λ вытекает из выражения (1.5):

$$T_{1/2} = \ln(2/\lambda) = 0,693/\lambda. \quad (1.7)$$

Процесс радиоактивного распада сопровождается выделением энергии. При этом выполняются законы сохранения энергии, электрического заряда и другие законы материального мира.

Число распадов ядер данного препарата в единицу времени характеризует активность вещества. Согласно выражению (1.5) активность определяется величиной

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}, \quad (1.8)$$

где A_0 – радиоактивность вещества в начальный момент времени.

Из сравнения выражений (1.5) и (1.8) следует, что активность вещества с течением времени падает по экспоненциальному закону радиоактивного распада, но в любой момент времени ее уровень существенно зависит от начальной активности:

$$A_0 = \lambda N_0 = (\ln 2/T_{1/2}) N_0 = (0,693/T_{1/2}) N_0. \quad (1.9)$$

За единицу измерения активности в системе СИ принят беккерель (Бк). Это активность данного количества вещества, при котором за одну секунду происходит один распад. Эта единица активности мала, поэтому ее используют с кратными приставками – килобеккерель (кБк) и мегабеккерель (МБк). Широкое распространение получила внесистемная единица активности кюри (Ки). 1 Ки равен $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду. Такой активностью обладает один грамм радия, в котором за одну секунду происходит 37 млрд распадов. Следовательно, $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$. Массу m радионуклида активностью A можно определить из выражения

$$m = k A_m T_{1/2} A, \quad (1.10)$$

где k – константа, зависящая от избранных единиц измерения;

A_m – атомная масса радионуклида.

Значения величины k

Единица измерения активности A	Единица измерения периода полураспада $T_{1/2}$				
	с	мин	ч	сут	год
Бк	$2,4 \cdot 10^{-24}$	$1,44 \cdot 10^{-22}$	$8,62 \cdot 10^{-21}$	$2,07 \cdot 10^{-19}$	$7,56 \cdot 10^{-17}$
Ки	$8,86 \cdot 10^{-14}$	$5,32 \cdot 10^{-12}$	$3,19 \cdot 10^{-10}$	$7,66 \cdot 10^{-9}$	$2,80 \cdot 10^{-6}$

Если радионуклиды распределены по объему вещества, то его активность определяют в единицах объема, т. е. объемная радиоактивность A_v , Бк/м³ или Ки/км³. Если радионуклиды распределены по поверхности, то ее характеризуют активностью единицы поверхности, т. е. поверхностной радиоактивностью A_s , Бк/м² или Ки/км². Аналогично можно вывести удельную активность в расчете на массу.

По проникающей способности радиоактивные излучения подразделяют на три основных вида: альфа-, бета- и гамма-излучения.

Альфа-распадом называется самопроизвольное испускание радиоактивным ядром альфа-частиц, представляющих собой ядра гелия ${}^4_2\text{He}$. Распад протекает по схеме



Как видно из схемы, атомный номер дочернего ядра (Y) уменьшается на две единицы. Заряд альфа-частиц положительный. Обособлению этой группы нуклонов способствует насыщение ядерных сил, так что сформировавшаяся альфа-частица подвержена меньшему действию ядерных сил притяжения, чем отдельные нуклоны.

Альфа-частицы характеризуют двумя параметрами: длиной пробега (в воздухе до 9 см, в биологической ткани до 52 мкм) и кинетической энергией, (2–9 МэВ).

Бета-распад объединяет два вида ядерных превращений: β^- -распад (электронный) и β^+ -распад (позитронный). При β^- -распаде ядро испускает электрон и антинейтрино, а при β^+ -распаде – позитрон и нейтрино. Электрон (позитрон) и антинейтрино (нейтрино) не присутствуют в атомных ядрах. Они образуются в результате ядерной реакции в ядре. Нуклоны в радиоактивных ядрах нестабильны и в процессе реакции преобразуются в другие виды частиц.

Бета-частицы характеризуют теми же параметрами, что и альфа-частицы. Так как масса α -частицы в несколько раз больше β -частицы, то длина пробега последней больше (в воздухе до 20 м, в биологической ткани до 3 мм). Для β -частиц величина кинетической энергии составляет 15 кэВ – 15 МэВ.

Гамма-излучением называется электромагнитное излучение, энергия которого высвобождается при переходе ядер из возбужденного в основное или менее возбужденное состояние, а также при ядерных реакциях. Длина волны гамма-излучения не превышает 0,1 нм. Процесс гамма-излучения не является самостоятельным типом радиоактивности, так как происходит без изменения массового и зарядового чисел ядра.

Примеры решения задач

Задача 1. Начальная активность A ^{60}Co составляет 10^9 Бк. Рассчитать активность A этого вещества через 5 лет.

Решение

1. Из прил. 1 находим период полураспада ^{60}Co . Он составляет 5,27 года.
2. Определяем активность этого вещества через 5 лет из выражения (1.8):

$$A = A_0 e^{-\frac{0,693 t}{T_{1/2}}} = 10^9 e^{-\frac{0,693 \cdot 5}{5,27}} = 0,52 \cdot 10^9 \text{ Бк.}$$

Задача 2. Определить активность пробы, содержащей ^{103}Ru массой 32,6 г и ^{106}Ru массой 120 г.

Решение

1. Из прил. 1 находим периоды полураспада ^{103}Ru и ^{106}Ru . Они составляют $T_{1/2}(^{103}\text{Ru}) = 39,3$ сут ; $T_{1/2}(^{106}\text{Ru}) = 365$ сут.
2. Определяем активность рутения – 103 и 106 из выражения (1.10):

$$A_{103} = \frac{m_{103}}{k \cdot A_m \cdot T_{1/2}} = \frac{32,6}{2,07 \cdot 10^{-19} \cdot 103 \cdot 39,3} = 3,9 \cdot 10^{16} \text{ Бк;}$$

$$A_{106} = \frac{m_{106}}{k \cdot A_m \cdot T_{1/2}} = \frac{120}{2,07 \cdot 10^{-19} \cdot 106 \cdot 365} = 1,5 \cdot 10^{16} \text{ Бк.}$$

Активность пробы определяется из соотношения

$$A_{np} = A_{103} + A_{106} = (3,9 + 1,5) \cdot 10^{16} = 5,4 \cdot 10^{16} \text{ Бк.}$$

Задача 3. Поверхностная активность загрязненной местности A_s составляет 40 Ки/км². Рассчитать количество ядер, распадающихся на площади 1 см² за одну секунду.

Решение

Количество распадающихся ядер рассчитывается выражением

$$N = A_s \cdot S \cdot t, \quad (1.12)$$

где A_s – поверхностная активность загрязненной местности;

S – площадь загрязненной местности;

t – время распада ядер.

Тогда

$$A = 40 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/км}^2 \cdot 1 \text{ см}^2 \cdot 1 \text{ с} = 148 \text{ ядер.}$$

Задача 4. Начальная активность ^{226}Ra составляет 10^{12} Бк. Рассчитать число радиоактивных ядер этого вещества через 1000 лет.

Решение

Из прил. 1 находим период полураспада ^{226}Ra . Он составляет $T_{1/2} = 1600$ лет. Определяем активность радия через 1000 лет по (1.8):

$$A = A_0 e^{-\frac{0,693 t}{T_{1/2}}} = 10^{12} e^{-\frac{0,693 \cdot 1000}{1600}} = 0,65 \cdot 10^{12} \text{ Бк.}$$

Рассчитываем число радиоактивных ядер из выражения

$$A = \lambda N,$$

где A – активность вещества;

λ – постоянная распада;

N – число радиоактивных ядер в веществе.

Тогда

$$N = \frac{A}{\lambda} = \frac{A \cdot T_{1/2}}{0,693} = \frac{0,65 \cdot 10^{12} \cdot 1600 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{0,693} = 4,8 \cdot 10^{22} \text{ ядер.}$$

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Начальная активность изотопа – A_0 . Рассчитать активность этого изотопа через время t . Исходные данные приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Исходные данные к задаче 1

Вариант	Исходные данные		
	Изотоп	A_0 , Бк	Время t , лет
1	^{134}Cs	10^{10}	0,5
2	^{226}Ra	10^9	1400
3	^{154}Eu	10^8	12
4	^{40}K	10^7	780 000
5	^{90}Sr	10^6	20
6	^{137}Cs	10^{11}	27
7	^{22}Na	10^5	1,5
8	^{239}Pu	10^6	15 000
9	^{226}Ra	10^8	1200
10	^{106}Ru	10^{12}	0,5
11	^{204}Tl	10^{11}	2,5
12	^{65}Zn	10^9	0,4

Задача 2. Начальная активность изотопа – A_0 . Рассчитать число ядер этого изотопа через время t . Исходные данные приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Исходные данные к задаче 2

Вариант	Исходные данные		
	Изотоп	A_0 , Бк	Время t , лет
1	^{145}Pm	10^8	2,0
2	^{106}Ru	10^7	0,5
3	^{22}Na	10^9	1,6
4	^{239}Pu	10^6	22 500
5	^{154}Eu	10^7	8,5
6	^{137}Cs	10^8	20
7	^{60}Co	10^6	2,6
8	^{90}Sr	10^8	10,5
9	^{65}Zn	10^6	0,3
10	^{204}Tl	10^8	2,5
11	^{40}K	10^7	25
12	^{34}Cs	10^9	1,5

Задача 3. Поверхностная активность загрязненной местности – A_s . Рассчитать количество ядер, распадающихся на площади S . Исходные данные приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Исходные данные к задаче 3

Вариант	Исходные данные	
	A_s , Ки/км ²	S , см ²
1	40	1
2	20	5
3	10	100
4	5	40
5	15	10 000
6	80	800
7	60	150
8	5	800
9	45	20
10	12	60
11	28	2000
12	90	4000

Задача 4. Рассчитать активность пробы $A_{пр}$, содержащей изотопы веществ M_1 и M_2 , массой m_1 и m_2 граммов соответственно. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Исходные данные к задаче 4

Вариант	Исходные данные			
	Вещество M_1	Масса m_1 , г	Вещество M_2	Масса m_2 , г
1	Бром ⁸² Br	25,2	Йод ¹³¹ I	50,5
2	Лантан ¹⁴⁰ La	30,5	Полоний ²¹⁰ Po	895
3	Цинк ⁶⁵ Zn	125	Марганец ⁵² Mn	170
4	Йод ¹³¹ I	40,5	Рутений ¹⁰³ Ru	85,6
5	Марганец ⁵² Mn	115	Полоний ²¹⁰ Po	205
6	Полоний ²¹⁰ Po	212	Бром ⁸² Br	2,6
7	Мышьяк ⁷⁴ As	25,3	Лантан ¹⁴⁰ La	60,5
8	Рутений ¹⁰³ Ru	35,4	Полоний ²¹⁰ Po	4,2
9	Медь ⁶⁴ Cu	150	Рутений ¹⁰⁶ Ru	695
10	Бром ⁸² Br	16,5	Рутений ¹⁰³ Ru	8,7
11	Йод ¹³¹ I	41,3	Полоний ²¹⁰ Po	758
12	Полоний ²¹⁰ Po	12,8	Цинк ⁶⁵ Zn	694

Контрольные вопросы

1. Из каких элементарных частиц состоит атом любого химического элемента?
2. Что показывает порядковый номер химического элемента в периодической таблице?
3. Какие силы в ядре атома удерживают протоны?
4. Что такое изотопы, изобары и изотоны?
5. Что такое энергия связи ядра?
6. Что такое удельная энергия связи ядра?
7. Какие вещества называют радиоактивными?
8. Что такое радионуклид?
9. Что характеризует постоянная распада радиоактивного вещества?
10. Что такое период полураспада радиоактивного вещества?
11. Какая связь между периодом полураспада и постоянной распада радиоактивного вещества?
12. Что такое активность радиоактивного вещества? В каких единицах она измеряется.
13. Что такое объемная и поверхностная активности? Назовите единицы их измерения?
14. Назовите основные виды излучений радиоактивных ядер.
15. Какова характеристика альфа-распада радиоактивного ядра.
16. Какова характеристика бета-распада радиоактивного ядра.
17. Какова характеристика гамма-излучения.

Литература

1. Асаенко, И. С. Радиационная безопасность : учеб. пособие / И. С. Асаенко, Л. П. Лубашев, А. И. Навоша. – Минск : БГУИР, 2000.
2. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991.
3. Гусев, Н. Г. Защита от ионизирующих излучений / Н. Г. Гусев, В. П. Машкович, А. П. Суворов. – М. : Атомиздат, 1980.
4. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения / Г. П. Демиденко [и др.]. – Киев : Вища шк., 1989.
5. Машкович, В. П. Защита от ионизирующих излучений : справочник / В. П. Машкович. – М. : Энергоиздат, 1982.
6. Иванов, В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
7. Выжить после Чернобыля / А. М. Люцко [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1990.
8. ГОСТ 8.417–2002 ГСИ. Единицы величин. – Введ. 01.09.2003
9. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

Практическая работа №2

ПРОХОЖДЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО И ЗАЩИТА ОТ НИХ

Теоретический материал

При прохождении ионизирующего излучения через вещество (среду) имеет место передача энергии излучения веществу. Основным процессом передачи энергии является ионизация. Для заряженных частиц характерна постепенная передача энергии в процессе многократного столкновения с электронами и ядрами вещества.

Альфа-частицы, проходя через вещество (среду), взаимодействуют с электронами атомов вещества. Процесс взаимодействия альфа-частиц с ядрами вещества маловероятен, так как, во-первых, масса ядра атомов вещества значительно больше массы частицы, во-вторых, ядро и альфа-частица имеют одинаковый (положительный) электрический заряд. В процессе столкновения альфа-частицы с ядром она отклоняется на практически незначительный угол. Следовательно, путь альфа-частицы в веществе (среде) практически прямолинейен. При взаимодействии альфа-частицы с атомными электронами вещества имеет место потеря этой частицей кинетической энергии. Получив кинетическую энергию, один или несколько атомных электронов уходят с орбит и атом становится ионом. Если полученной энергии недостаточно, то атомные электроны смещаются на другие орбиты и происходит возбуждение атома. И в том и в другом случае потери энергии альфа-частицей называют ионизационными.

Если концентрация электронов в веществе равна n_e , то потери энергии альфа-частицей (ионизационные потери) в результате ее взаимодействия со всеми встречающимися на пути электронами будут определяться величиной $-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}}$ – уменьшением энергии частицы на единице пути. Ионизационные потери характеризуются величиной средних потерь энергии альфа-частицы на единице пути. Эти потери оцениваются выражением

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}} \approx \frac{z_\alpha^2 n_e}{V_\alpha^2}, \quad (2.1)$$

где z_α – заряд альфа-частицы;

n_e – концентрация электронов в веществе;

V_α – скорость движения альфа-частицы.

В результате экспериментальных данных установлен ряд эмпирических соотношений между энергией альфа-частицы и ее пробегом. Пробег альфа-частицы R_α с энергией E_0 до 9 МэВ в воздухе определяется из соотношения

$$R_\alpha = 1,24E_0 - 2,62 \text{ см.} \quad (2.2)$$

Для веществ, отличающихся от воздуха, пробег альфа-частицы оценивается выражением

$$R_{\alpha} = \frac{10^{-4} \sqrt{A_m E_0^3}}{\rho_x}, \quad (2.3)$$

где A_m – атомная масса вещества;

E_0 – энергия альфа-частицы, МэВ;

ρ_x – плотность вещества, г/см².

Так как пробег альфа-частиц незначителен (в воздухе до 9 см, в биологических тканях десятки микрометров), то защита от внешнего облучения не является проблемой. Для защиты от альфа-частиц достаточен слой воздуха в несколько сантиметров. Также применяют экраны из плексигласа и стекла толщиной в несколько миллиметров.

Процесс прохождения бета-частиц через вещество более сложный, так как энергия этих частиц расходуется не только на ионизационные, но и радиационные потери, а также на их рассеяние.

Ионизационные потери кинетической энергии бета-частицей рассчитываются из выражения (2.1).

При взаимодействии бета-частицы с ядром атома вещества имеют место радиационные потери, которые определяются из выражения

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{рад}} \approx \frac{z_{\beta}^2}{m_{\beta}^2}, \quad (2.4)$$

где m_{β} – масса бета-частицы.

Кроме того, вокруг его ядра существует кулоновское поле, обусловленное наличием в ядре заряженных частиц. Кулоновские силы пропорциональны заряду ядра. Под действием кулоновских сил заряженная бета-частица получает ускорение. Согласно классической электродинамике любая заряженная частица, движущаяся с ускорением, излучает электромагнитные волны, интенсивность которых пропорциональна квадрату ускорения частицы. Это излучение ускоренной бета-частицы называют тормозным, а длина его волны соответствует длине волны рентгеновского излучения. 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.

Для оценки максимального пробега бета-частицы в воздухе (R_{β}) используют эмпирическое соотношение

$$R_{\beta} \geq 4,1 E_0 [\text{м}], \quad (2.5)$$

где E_0 – кинетическая энергия бета-частицы (МэВ).

Приближенно пробег бета-частицы в любом веществе оценивается выражением

$$R_{\beta} = \frac{R_{\beta}(z/A_m)_{\beta}}{(zA_m)_{\beta}}, \quad (2.6)$$

где Z – зарядовое число ядра;

A_m – атомная масса вещества.

Для защиты от бета-частиц применяются двухслойные экраны, которые изготавливаются из материалов с малой и большой атомными массами. Слой материала с малой атомной массой дает наименьшее тормозное излучение. При использовании экранов из таких материалов для защиты возникает высокоинтенсивное излучение квантов малой энергии, а в слое из материала с большой атомной массой возникают кванты больших энергий, но меньшей интенсивности. При этом со стороны источника излучения располагают материал с малой атомной массой, а за ним – с большой. Возникающие в обращенном к источнику слое кванты с малой энергией поглощаются в слое с большой атомной массой.

Гамма- и рентгеновское излучения представляют собой электромагнитные волны. Для этих видов излучения не существует понятий пробега и потерь энергии на единицу пути. Гамма-лучи, проходя через вещество, взаимодействуют как с электронами, так и с ядрами атомов вещества. В результате взаимодействия интенсивность лучей уменьшается. Для однородного вещества ослабление лучей происходит по экспоненциальному закону:

$$I = I_0 e^{-\mu d}, \quad (2.7)$$

где I – интенсивность лучей после прохождения слоя вещества (поглотителя) толщиной d ;

I_0 – начальная интенсивность гамма-лучей;

μ – линейный коэффициент ослабления, определяемый по таблицам.

Под интенсивностью понимают произведение энергии гамма-кванта на число гамма-квантов, падающих каждую секунду на поглотитель. Линейный коэффициент зависит от энергии излучения и свойств поглощающего материала. Массовый коэффициент ослабления связан с линейным соотношением

$$\mu_m = \mu / \rho \text{ [см}^2\text{/г]}, \quad (2.8)$$

где ρ – плотность поглощающего материала, г/см³.

Толщину слоя вещества, необходимую для уменьшения интенсивности энергии гамма-излучения в два раза, называют слоем половинного ослабления ($\Delta_{1/2}$). Из закона поглощения получим

$$\Delta_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}. \quad (2.9)$$

Для защиты от гамма-излучений применяют экраны из материалов с большой атомной массой и высокой плотностью (свинец, вольфрам и др.).

Прежде чем использовать тот или другой материал для экрана, проводят расчет толщины защитного слоя. Эффективность экранов оценивают кратностью ослабления (K). Кратность ослабления рассчитывают из выражения

$$K = \frac{X}{X_d} = \frac{P_x}{P_{x_d}}, \quad (2.10)$$

где X (P_x) – величина экспозиционной дозы или мощность экспозиционной дозы в данной точке при отсутствии экрана;

$X_D (P_{x_d})$ – те же величины, но при наличии экрана.

Примеры решения задач

Задача 1. Рассчитать пробег альфа-частиц в воздухе и алюминии в зависимости от энергии частиц $E_0 = 4,5$ МэВ. Плотность алюминия $2,7$ г/см³, а атомная масса $A_m = 27$.

Решение

Определяем пробег альфа-частиц в воздухе из соотношения (2.2):

$$R_\alpha = 1,24 \cdot E_0 - 2,62 = 1,24 \cdot 4,5 - 2,62 = 2,96 \text{ см.}$$

Определяем пробег альфа-частиц в алюминии из выражения (2.3):

$$R_\alpha = \frac{10^{-4} \sqrt{A_m E_0^3}}{\rho_x} = \frac{10^{-4} \sqrt{27 \cdot 91,125}}{2,7} = \frac{10^{-4} \cdot 49,6}{2,7} = 18,37 \cdot 10^{-4} \text{ мкм.}$$

Задача 2. На свинцовую пластину падает поток гамма-квантов с энергией 1 МэВ. После прохождения пластины интенсивность потока уменьшается на 10 %. Определить толщину пластины, слой половинного ослабления и массовый коэффициент ослабления свинца для гамма-квантов этой энергии.

Решение

1. Из прил. 2 находим плотность свинца и значение линейного коэффициента ослабления для $E_\gamma = 1$ МэВ. Они равны 11,3 и 0,789 г/см³ соответственно. Толщину пластины определим из закона поглощения (2.7):

$$d = \frac{\ln(I_0 / I)}{\mu} = \frac{\ln(1 / 0,9)}{0,789} \approx 0,14 \text{ см.}$$

2. Из равенства (2.9) следует, что

$$\Delta_{1/2} = 0,693 / 0,789 \approx 0,87 \text{ см.}$$

Определим массовый коэффициент ослабления из соотношения (2.8):

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,789}{11,3} \approx 0,07 \text{ см}^2/\text{г.}$$

Задача 3. Рассчитать толщину стен помещения из бетона, в котором размещается источник излучения ⁶⁰Со активностью 3 Ки; энергия излучения $E_0 = 0,1$ МэВ. Расстояние от источника излучения до лиц (не связанных с работой источника), находящихся в соседнем помещении, 5 м.

Решение

1. Определяем мощность экспозиционной дозы P_x по формуле

$$P_x = \frac{AK_\gamma}{R^2}, \quad (2.11)$$

где A – активность источника излучения;

K_γ – гамма-постоянная радионуклида, определяемая по прил. 1;

R – расстояние от источника до рабочего места.

Гамма-постоянная равна мощности экспозиционной дозы, создаваемой гамма-излучением точечного источника активностью 1 мКи на расстоянии 1 см от него. Гамма-постоянная выражается в $\text{P} \cdot \text{см}^2 / (\text{мКи} \cdot \text{ч})$.

Тогда

$$P_x = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 12,93}{2,5 \cdot 10^5} = 0,155 \text{ P/ч.}$$

2. Рассчитываем кратность ослабления из выражения (2.10):

$$K = \frac{P_x}{P_{x_{\text{пд}}}},$$

где $P_{x_{\text{пд}}}$ – предел дозы, который согласно гигиеническому нормативу составляет 0,22 мбэр/ч.

$$K = \frac{0,155 \cdot 10^3}{0,022} = 7,05 \cdot 10^3,$$

По графику (прил. 3) определяем толщину стен помещения, которая составит примерно 20 см.

Задача 4. Мощность экспозиционной дозы без экрана на рабочем месте равна $P_x = 280$ мР/ч. Рассчитать толщину экрана из железа для защиты от источника гамма-излучения ^{137}Cs с энергией квантов $E_\gamma = 0,662$ МэВ для работы в течение 25 ч в неделю.

Решение

1. Рассчитаем предельно допустимую мощность экспозиционной дозы $P_{x_{\text{пд}}}$ из выражения

$$P_{x_{\text{пд}}} = \frac{100}{t},$$

где t – время работы в неделю, ч.

Тогда

$$P_{x_{\text{пд}}} = \frac{100}{25} \text{ мР/ч.}$$

2. Определяем кратность ослабления из выражения (2.10):

$$K = \frac{P_x}{P_{x_{\text{пд}}}} = \frac{280}{4} = 70.$$

3. Из прил. 2 найдем линейный коэффициент ослабления гамма-излучения при $E_\gamma = 0,662$ МэВ. Он равен 0,57.

4. Рассчитаем толщину защиты d из железа, используя соотношение

$$d = \frac{\ln K}{\mu} = \frac{\ln 70}{0,57} \approx 7,5 \text{ см.}$$

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. На пластину M падает поток гамма-квантов с энергией E_0 . После прохождения пластины интенсивность потока уменьшается на n %. Определить толщину пластины, слой половинного ослабления и массовый коэффициент ослабления пластины для гамма-квантов с заданным значением энергии. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Исходные данные к задаче 1

Вариант	Исходные данные		
	Вещество	Энергия E_0 , МэВ	n , %
1	Алюминий	1,0	25
2	Бетон	0,5	20
3	Железо	1,25	30
4	Медь	1,5	50
5	Олово	0,4	10
6	Свинец	1,0	15
7	Алюминий	1,5	40
8	Бетон	1,25	20
9	Железо	2,0	60
10	Медь	1,25	20
11	Олово	1,0	10
12	Свинец	2,0	50

Задача 2. Рассчитать пробег альфа-частиц в веществе (среде) N в зависимости от их кинетической энергии E_0 и плотности вещества ρ_x . Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Исходные данные к задаче 2

Вариант	Исходные данные		
	Вещество (среда), N	Энергия E_0 , МэВ	ρ_x , г/см ³
1	Al	4,0	2,7
2	Воздух	4,0	1,0
3	Al	5,0	2,7
4	Воздух	5,0	1,0
5	Al	6,0	2,7
6	Воздух	6,0	1,0
7	Al	7,0	2,7
8	Воздух	7,0	1,0
9	Al	8,0	2,7
10	Воздух	8,0	1,0
11	Al	8,5	2,7
12	Воздух	8,5	1,0

Задача 3. Мощность экспозиционной дозы без защиты на рабочем месте равна P_x , мР/ч. Рассчитать толщину защиты из вещества M , если источником

является ^{137}Cs , а время работы t часов в неделю. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Исходные данные к задаче 3

Вариант	Исходные данные			
	Вещество, M	Энергия E_γ , МэВ	Время работы, t	P_x , мР/ч
1	Алюминий	0,662	7	280
2	Бетон	0,6	10	220
3	Железо	0,8	13	140
4	Медь	1,0	5	250
5	Олово	0,5	10	240
6	Свинец	1,25	11	220
7	Алюминий	1,0	8	240
8	Бетон	0,8	7	280
9	Железо	1,0	4	250
10	Медь	0,662	6	320
11	Олово	1,5	5	250
12	Свинец	0,662	9	270

Задача 4. Рассчитать толщину стен помещения из бетона, в котором размещается источник излучения N с активностью A и энергией излучения E_0 . Расстояние от источника излучения до рабочих мест лиц, не связанных с работой источника, находящихся в соседнем помещении, R . Исходные данные приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Исходные данные к задаче 4

Вариант	Исходные данные			
	Изотоп источника излучения, N	Активность источника A , Ки	Энергия излучения E_0 , МэВ	Расстояние R , м
1	^{22}Na	2	0,1	5
2	^{131}I	1	0,6	6
3	^{82}Br	3	0,3	7
4	^{74}As	4	0,2	4
5	^{134}Cs	5	0,5	5
6	^{203}Hg	6	0,4	4
7	^{41}Ar	1	0,1	5
8	^{60}Co	4	0,2	7
9	^{137}Cs	5	0,4	4
10	^{106}Ru	3	0,5	6
11	^{154}Eu	6	0,6	7
12	^{64}Cu	2	0,3	4

Контрольные вопросы

1. Поясните, в чем сущность взаимодействия альфа-частиц с атомными электронами вещества.
2. Что понимают под ионизационными потерями и от каких трех факторов они зависят?
3. Поясните принцип взаимодействия альфа-частиц с ядрами вещества.
4. Поясните сущность взаимодействия бета-частиц с ядрами вещества.
5. Что понимают под тормозным излучением и при каких видах излучения ядра они имеют место?
6. Что такое радиационные потери и от каких двух факторов они зависят?
7. Поясните, почему при одинаковой кинетической энергии 5 МэВ альфа-частица имеет длину пробега в воздухе до 9 см, а бета-частица – до 20 м.
8. По какому закону уменьшается интенсивность гамма-излучения при прохождении его через вещество?
9. Что понимают под линейным коэффициентом ослабления и в чем его отличие от массового коэффициента?
10. Поясните принцип изготовления защитных экранов от бета-частиц.
11. Каким показателем оценивается эффективность экранов, используемых для защиты от ионизирующих излучений и как он рассчитывается?

Литература

1. Асаенок, И. С. Радиационная безопасность : учеб. пособие / И. С. Асаенок, Л. П. Лубашев, А. И. Навоша. – Минск : БГУИР, 2000.
2. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991.
3. Гусев, Н. Г. Защита от ионизирующих излучений / Н. Г. Гусев, В. П. Машкович, А. П. Суворов. – М. : Атомиздат, 1980.
4. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения / Г. П. Демиденко [и др.]. – Киев : Вища шк., 1989.
5. Машкович, В. П. Защита от ионизирующих излучений: справочник / В. П. Машкович. – М. : Энергоиздат, 1982.
6. Иванов, В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
7. Выжить после Чернобыля / А. М. Люцко [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1990.

Практическая работа №3

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ЕДИНИЦЫ

Теоретический материал

Первая из характеристик взаимодействия излучения и среды – это ионизационный эффект. В начальный период развития радиационной дозиметрии чаще всего приходилось иметь дело с рентгеновским излучением, распространяющимся в воздухе. Поэтому в качестве количественной меры поля излучения использовали степень ионизации воздуха рентгеновских трубок или аппаратов. Количественная мера, основанная на величине ионизации сухого воздуха при нормальном атмосферном давлении, достаточно легко поддающаяся измерению, получила название «Экспозиционная доза».

Экспозиционная доза определяет ионизационную способность рентгеновского и гамма-излучения и выражает энергию излучения, преобразованную в кинетическую энергию заряженных частиц, в единицах массы атмосферного воздуха. Экспозиционная доза X – это отношение суммарного заряда dQ всех ионов одного знака в элементарном объеме воздуха к массе dm воздуха в этом объеме, т. е.

$$X = \frac{dQ}{dm}. \quad (3.1)$$

В СИ единицей измерения экспозиционной дозы является Кл/кг. Внесистемная единица – рентген (Р). 1 Р соответствует образованию $2,08 \cdot 10^{18}$ пар ионов в 1 см^3 воздуха при температуре $0 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 760 мм рт. ст.

Однако при расширении круга известных видов ионизирующего излучения и сфер его приложения оказалось, что мера воздействия ионизирующего излучения на вещество не поддается простому определению из-за сложности и многообразия протекающих при этом процессов. Важным из них, дающим начало физико-химическим изменениям в облучаемом веществе и приводящим к определенному радиационному эффекту, является поглощение энергии ионизирующего излучения веществом. В результате этого возникло понятие «поглощенная доза».

Поглощенная доза показывает, какое количество энергии излучения поглощено в единице массы любого облучаемого вещества. Если в результате воздействия на любое вещество массой dm поглощается энергия ионизирующего излучения dE , то поглощенная доза определяется выражением

$$D = \frac{dE}{dm}. \quad (3.2)$$

За единицу поглощенной дозы в СИ принят грей (Гр). Это такая доза, при которой массе 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж. Внесистемной единицей поглощения дозы является рад.

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}.$$

Эквивалентная доза отличается от поглощенной тем, что она учитывает особенности радиационного эффекта в биологической ткани. Этот эффект при одной и той же поглощенной дозе D может быть весьма различным в зависимости от того, каким видом излучения производится воздействие на ткань. Указанные особенности разрушительного воздействия на конкретный вид ткани установлены эмпирически. Они численно оцениваются усредненным коэффициентом качества облучения k (табл. 3.1), что позволяет определить эквивалентную дозу H выражением

$$H = kD. \quad (3.3)$$

За единицу эквивалентной дозы в СИ принят зиверт (Зв). 1 зиверт равен такой дозе, при которой произведение поглощенной дозы на средний коэффициент качества облучения составляет 1 Дж/кг в биологической ткани стандартного состава. Внесистемной единицей эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рада).

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}.$$

Таблица 3.1

Значения k для некоторых видов излучения

Вид излучения	k
Фотоны (гамма-излучение и рентгеновское излучение)	1
Бета-излучение (электроны и позитроны)	1
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
Альфа-излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Нейтроны с энергией 0,1...10 МэВ	10
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3

Эффективная эквивалентная доза введена для оценки опасности для всего организма при облучении отдельных органов и тканей, которые имеют неодинаковую восприимчивость к ионизирующим излучениям:

$$H_{\text{эф}} = \sum_{i=1}^n W_i H_i, \quad (3.4)$$

где W_i – взвешивающий коэффициент, характеризующий степень риска облучения данного органа (ткани) по отношению к суммарному риску облучения всего организма;

H_i – среднее значение эквивалентной дозы облучения в i -м органе или ткани организма.

Взвешивающие коэффициенты (коэффициенты радиационного риска) позволяют определять риск облучения вне зависимости от того, облучается весь организм равномерно или неравномерно. Значения W_i приведены в табл. 3.2.

Сумма взвешивающих коэффициентов W_{Σ} для всего организма равна

$$W_{\Sigma} = W_1 + W_2 + \dots + W_i = 1. \quad (3.5)$$

Значения W_i

Органы ткани	W_i
Гонады (половые железы)	0,20
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Клетки костных тканей	0,01
Головной мозг	0,025
Остальные ткани	0,05

Взвешивающие коэффициенты определены эмпирически и рассчитываются таким образом, чтобы их сумма для всего организма составляла единицу.

Например, при работе с источником ионизирующего излучения работник получил облучение органов малого таза и нижних конечностей дозой в 300 бэр. Эффективная доза данного излучения составила 84 бэр ($H_{эф} = 300 \cdot 0,25 + 300 \cdot 0,03$).

Как видим, облучение указанных участков тела дозой в 300 бэр вызовет у работника такие же изменения, которые бы у него произошли при облучении всего организма дозой в 84 бэр. При этом облучение только нижних конечностей было бы эквивалентно облучению всего организма дозой в 9 бэр ($300 \cdot 0,03$).

Важной характеристикой ионизирующих излучений является мощность дозы P , которая показывает, какую дозу облучения получает среда или вещество за единицу времени. Мощность любой дозы – это изменение дозы во времени. Она оценивается выражениями

$$P_D = \frac{dD}{dt} \text{ и } P_X = \frac{dX}{dt}, \quad (3.6)$$

где P_D – мощность поглощенной дозы;

P_X – мощность экспозиционной дозы.

Для экспозиционной дозы единицей этой величины являются Кл/(кг·ч); Р/ч; для поглощенной дозы Гр/ч или рад/с.

Аналогичным образом введены понятия мощности других доз ионизирующих излучений.

Мощности поглощенной и экспозиционной доз для точечного источника гамма-излучения можно определить по формулам

$$P_x = \frac{A K_\gamma}{R^2} \text{ и } P_D = \frac{A \Gamma_\delta}{R^2}, \quad (3.7)$$

где A – активность источника излучения;

R – расстояние от источника излучения до рабочего места;

K_γ – гамма-постоянная изотопа;

Γ_δ – керма-постоянная изотопа (см. прил. 1).

Керма-постоянная равна мощности поглощенной дозы в воздухе, создаваемой гамма-излучением точечного источника активностью 1 Бк на расстоянии 1 м от него. Она выражается в $\text{Гр} \cdot \text{м}^2 / (\text{Бк} \cdot \text{с})$.

Гамма-постоянная равна мощности экспозиционной дозы, создаваемой гамма-излучением точечного источника активностью 1 мКи на расстоянии 1 см от него. Выражается гамма-постоянная в $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{мКи} \cdot \text{ч})$.

Примеры решения задач

Задача 1. Определить величину экспозиционной дозы гамма-излучения от точечного источника ^{60}Co активностью 10 мКи на расстоянии 0,5 м в течение 1 недели.

Решение

1. Из прил. 1 определяем период полураспада ^{60}Co . Он равен $T_{1/2} = 5,3$ года.

2. Так как период полураспада намного больше времени облучения, то для определения экспозиционной дозы используем выражение

$$X = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot t}{R^2} = \frac{10 \cdot 12,93 \cdot 7 \cdot 24}{50^2} = 8,67 \text{ Р.}$$

Задача 2. Определить, какую эквивалентную дозу накопил биологический объект за 7 сут, если он подвергся комбинированному облучению альфа- и бета-частицами, мощности поглощенных доз которых составили 20 и 300 Гр/ч соответственно.

Решение

1. Рассчитываем дозу, полученную биологическим объектом за 7 сут (168 ч) облучения альфа-частицами из соотношения (3.6):

$$D_\alpha = P_\alpha \cdot t = 20 \cdot 168 = 3360 \text{ Гр.}$$

2. Рассчитываем дозу, полученную биологическим объектом за 7 сут при облучении бета-частицами:

$$D_\beta = P_\beta \cdot t = 300 \cdot 168 = 50\,400 \text{ Гр.}$$

3. Определяем эквивалентную дозу, полученную при облучении объекта альфа- и бета-частицами, с учетом коэффициентов качества облучения из выражения (3.3):

$$H = k_\alpha D_\alpha + k_\beta D_\beta = 20 \cdot 3360 + 1 \cdot 50\,400 = 1,18 \cdot 10^5 \text{ Зв.}$$

Задача 3. При работе с источником ионизирующих излучений рабочий получил облучение гонад (половых желез) и клеток костных поверхностей

эквивалентной дозой 550 бэр. Определить эффективную дозу облучения. Используя прил. 4, сделать выводы о последствиях такой дозы облучения.

Решение

1. По табл. 3.2 определяем значения взвешивающих коэффициентов для гонад и клеток костных тканей. Они составляют 0,2 и 0,01 соответственно.

2. Определяем эффективную эквивалентную дозу облучения из соотношения (3.4):

$$H_{\text{эф}} = \sum_{i=1}^n W_i H_i = 550 \cdot 0,2 + 550 \cdot 0,01 = 115,5 \text{ бэр.}$$

Выводы

1. Полученная доза превышает допустимую месячную дозу облучения в чрезвычайных ситуациях военного времени.

2. Эта же доза вызовет временную стерилизацию мужчин.

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Определить, какую эквивалентную дозу накопил биологический объект за время t , если он подвергся комбинированному облучению двумя видами излучения, мощности поглощенных доз которых составили P_{D1} и P_{D2} соответственно. Исходные данные приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Исходные данные к задаче 1

Вариант	Исходные данные				
	Время облучения t , сут	Первый вид излучения	P_{D1} , Гр/ч	Второй вид излучения	P_{D2} , Гр/ч
1	4	Альфа	25	Бета	35
2	14	Гамма	30	Протоны	20
3	21	Бета	15	Гамма	12
4	15	Протоны	10	Бета	17
5	20	Гамма	8	Нейтроны до 10 МэВ	15
6	5	Нейтроны до 10 МэВ	18	Альфа	13
7	2	Нейтроны до 10 МэВ	14	Гамма	24
8	3	Протоны	8	Бета	10
9	5	Гамма	17	Нейтроны до 10 МэВ	13
10	4	Альфа	6	Гамма	12
11	6	Бета	5	Протоны	6
12	7	Гамма	3	Альфа	2

Задача 2. Известна поглощенная доза D , полученная в результате воздействия альфа-излучения на биологическую ткань. Какой дозе гамма-излучения это соответствует по биологическому действию? Исходные данные приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4
Исходные данные к задаче 2

Вариант	Исходные данные	
	Д, Гр	
1	10	
2	64	
3	18	
4	92	
5	56	
6	170	
7	200	
8	160	
9	360	
10	840	
11	440	
12	320	

Задача 3. При работе с источником ионизирующих излучений рабочий получил облучение органов N и M эквивалентной дозой H бэр. Определить эффективную эквивалентную дозу облучения. Используя прил. 4, сделать выводы о последствиях этого облучения. Исходные данные приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Исходные данные к задаче 3

Вариант	Исходные данные		
	Орган N	Орган M	H , бэр
1	Легкие	Пищевод	500
2	Головной мозг	Клетки костных тканей	350
3	Кожа	Клетки костных тканей	600
4	Щитовидная железа	Пищевод	550
5	Гонады	Мочевой пузырь	950
6	Печень	Кожа	450
7	Печень	Кожа	1200
8	Гонады	Мочевой пузырь	1350
9	Кожа	Клетки костных тканей	2150
10	Легкие	Пищевод	1780
11	Головной мозг	Клетки костных тканей	1690
12	Щитовидная железа	Пищевод	1000

Задача 4. Определить величину экспозиционной дозы гамма-излучения от точечного источника радиоактивного вещества N активностью A на расстоянии R в течение 1 недели. Исходные данные приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Исходные данные к задаче 4

Вариант	Исходные данные		
	Вещество N	Активность A , мКи	Расстояние R , м
1	^{134}Cs	8	0,3
2	^{137}Cs	10	0,4
3	^{60}Co	6	0,5
4	^{106}Ru	12	0,2
5	^{52}Mn	14	0,6
6	^{154}Eu	9	0,4
7	^{22}Na	10	0,4
8	^{154}Eu	12	0,3
9	^{137}Cs	8	0,5
10	^{60}Co	7	0,5
11	^{134}Cs	12	0,4
12	^{106}Ru	10	0,5

Контрольные вопросы

1. Поясните, что понимают под экспозиционной дозой облучения, и назовите единицы ее измерения.
2. Что характеризует поглощенная доза облучения, как она рассчитывается и в каких единицах измеряется?
3. Поясните, что учитывает эквивалентная доза облучения, и перечислите единицы ее измерения.
4. С какой целью введена эффективная эквивалентная доза облучения и в чем сущность взвешивающих коэффициентов?
5. Что понимают под мощностью любой дозы облучения и в каких единицах ее измеряют?

Литература

1. Асаенок, И. С. Радиационная безопасность : учеб. пособие / И. С. Асаенок, Л. П. Лубашев, А. И. Навоша. – Минск : БГУИР, 2000.
2. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991.
3. Гусев, Н. Г. Защита от ионизирующих излучений / Н. Г. Гусев, В. П. Машкович, А. П. Суворов. – М. : Атомиздат, 1980.
4. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения / Г. П. Демиденко [и др.]. – Киев : Вища шк., 1989.

5. Машкович, В. П. Защита от ионизирующих излучений : справочник / В. П. Машкович. – М. : Энергоиздат, 1982.
6. Иванов, В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
7. Выжить после Чернобыля / А. М. Люцко [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1990.
8. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

Библиотека БГУИР

Практическая работа №4

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Теоретический материал

Радиационная обстановка может возникнуть при аварии на радиационно опасном объекте (например, атомной электростанции), а также при ядерном взрыве. Под радиационной обстановкой понимают масштабы и степень радиационного заражения (загрязнения) местности, оказывающее влияние на жизнедеятельность населения и работу хозяйственных объектов.

Радиационная обстановка характеризуется двумя основными параметрами: размерами зон заражения и уровнями радиации.

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

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

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

- а) своевременного оповещения населения о чрезвычайных ситуациях;
- 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, т. е. 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 будут являться: тип и мощность реактора; время аварии; реальные измерения мощности доз облучения; метеоусловия.

При ядерном взрыве исходными данными являются: вид, мощность и время взрыва; координаты взрыва; реальные измерения 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 заражения (загрязнения). Такими задачами могут быть: определение возможных доз облуче-

ния при действиях в зонах заражения; определение допустимого времени начала работ в зоне (начала входа в зону) заражения по заданной (допустимой или установленной) дозе облучения; определение допустимой продолжительности пребывания в зоне заражения по заданной дозе облучения; определение необходимого количества смен для выполнения работ в зоне заражения и др.

Определение возможных доз облучения за время пребывания в зоне заражения 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 ($D_{\text{доп}}$) устанавливает начальник гражданской обороны хозяйственного объекта, т. е. руководитель предприятия.

Допустимая доза по нормам особого периода не должна превышать: при однократном облучении (в течение четырех суток) не более 50 Р; при многократном: в течение месяца – 100 Р, квартала – 200 Р и года – 300 Р.

Для определения экспозиционной дозы облучения в результате аварии на радиационно опасном объекте необходимы данные об уровне загрязнения местности спустя некоторое время после аварии ($P_{\text{изм}}$). Затем значение уровня загрязнения местности необходимо выразить через мощность экспозиционной дозы, при условии, 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

$$X = \frac{P_x \cdot t_p}{K_{\text{осл}}}, \quad (4.1)$$

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

t_p – продолжительность работы, ч;

$K_{\text{осл}}$ – коэффициент ослабления радиации, определяемый по прил. 5.

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

а) P_1 – уровень радиации через 1 ч после ядерного взрыва, определяемый из выражения

$$P_1 = P_{\text{изм}} \cdot K_2, \quad (4.2)$$

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

K_2 – коэффициент пересчета уровня радиации на некоторое время t , прошедшее после взрыва; он определяется по таблице, приведенной в прил. 6;

б) t_n – время начала пребывания в зоне заражения, ч;

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

Вначале рассчитывают относительную величину a (ее значение необходимо для вхождения в график) из выражения

$$a = \frac{P_1}{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{осл}}}. \quad (4.3)$$

Зная значения a и время t_n , по графику прил. 7 определяют допустимую продолжительность t_p пребывания людей на зараженной местности.

Определение допустимого количества смен для выполнения работ в условиях заражения местности позволяет исключить переоблучение при выполнении заданного объема работ. Для правильного распределения сил и средств по сменам возникает необходимость расчета требуемого количества смен. Требуемое количество смен N определяется делением суммарной дозы облучения X , которая может быть получена за время работ, на допустимую дозу облучения ($D_{\text{доп}}$) для каждой смены, т. е.

$$N = \frac{X}{D_{\text{доп}}}. \quad (4.4)$$

Суммарная доза облучения X рассчитывается по формуле

$$X = \frac{5P_n \cdot t_n - 5P_k \cdot t_k}{K_{\text{осл}}}, \quad (4.5)$$

где P_n – уровень радиации (Р/ч) в начале пребывания в зоне заражения на время t_n .

Этот уровень радиации определяется из выражения

$$P_n = \frac{P_1}{K_2}, \quad (4.6)$$

где K_2 – коэффициент пересчета на время t_n , определяемый по прил. 6;

P_k – уровень радиации в конце пребывания в зоне заражения на время t_k , определяемое из соотношения

$$t_k = t_n + t_p, \quad (4.7)$$

где t_p – продолжительность работы, ч.

Затем рассчитывают относительную величину a из выражения (4.3) и, пользуясь графиком (прил. 7), определяют начало и продолжительность работы каждой смены.

Как показывает опыт последних аварий на АЭС с разрушением ядерного реактора, на первом этапе после аварии ведущими дозообразующими радионуклидами являются изотопы йода. При поступлении внутрь организма одного и того же количества изотопов доза, создаваемая в щитовидной железе детей в возрасте до 14 лет, может быть значительно больше, чем у взрослого человека (до 10 раз). Это объясняется тем, что масса щитовидной железы взрослого человека равна 20 г, а ребенка – 2 г.

Из всех изотопов йода наибольшую опасность, в первую очередь для человека, представляет собой ^{131}I , являющийся β - и γ -излучателем. Период полураспада ^{131}I составляет 8,05 сут. Энергия β -частиц составляет 0,25–0,82 МэВ, энергия γ -квантов – 0,08–0,72 МэВ. При пероральном поступлении радиоактивный йод практически полностью всасывается в желудочно-кишечном тракте.

При ингаляции 50 % радиоактивного йода откладывается в верхних дыхательных путях, до 15 % – в бронхах, остальные (около 35 %) – в легких. Уже через 6 ч до 15–20 % радиоактивного йода фиксируется в щитовидной железе, а через 24 ч фиксируется до 25–30 % изотопа. Основным последствием этого процесса является развитие *гипотериоза* и опухолевых заболеваний щитовидной железы (в отдельные сроки), а при поступлении больших доз – *тееойодита*. Эффективный период полувыведения ^{131}I равен 7,5 суток.

Учитывая опасность облучения лиц, находящихся в первые часы и дни после аварии в зоне высокого загрязнения воздуха ^{131}I , требуется в обязательном порядке проводить йодную профилактику путем приема внутрь лекарственных препаратов стабильного йода. Эффективность йодной профилактики, в зависимости от времени приема препаратов стабильного йода, представлена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Защитный эффект в результате проведения йодной профилактики

Время приема препаратов стабильного йода	Эффективность защиты, раз
За 6 ч до ингаляции ^{131}I	100
Во время ингаляции ^{131}I	90
Через 2 ч после разового поступления	10
Через 6 ч после разового поступления	2

При проведении йодной профилактики следует учитывать, что для поддержания уровней защиты в условиях длительного поступления в организм радиоактивного йода необходим прием препарата стабильного йода в течение всего срока, когда возможно поступление ^{131}I , но не более 2-х суток для беременных женщин и детей до 5 лет, иначе необходимо для них принимать другие меры защиты, вплоть до эвакуации. Выведение ^{131}I из организма человека совершается: почками, желудочно-кишечным трактом, слизистыми оболочками, легкими, молочными железами. Йод в моче находится исключительно в виде йодидов. Кроме назначения препаратов стабильного йода при пероральном поступлении радиоактивного йода необходимо принять адсорбенты с последующим промыванием желудка.

Примеры решения задач

Задача 1. Определить допустимую продолжительность пребывания рабочих внутри здания цеха, имеющего коэффициент ослабления $K_{\text{осл}} = 10$, если работы начались через 2 часа после аварии на атомной электростанции, а уровень радиации на это время составил 100 Р/ч. Допустимая доза на время работы составляет $D_{\text{доп}} = 25 \text{ Р}$.

Решение

1. Определяем уровень радиации через 1 ч после взрыва из соотношения (4.2):

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

2. Рассчитываем относительную величину a из выражения (4.3):

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

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

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

Задача 2. Рабочим предстоит вести работы на открытой местности, загрязненной цезием-137 (период полураспада 30 лет). Загрязнение произошло в результате аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 года. Уровень загрязнения на указанное время начала работ ($A_{\text{изм}}$) составлял 30 Ки/км². Определить экспозиционную дозу облучения, которую получают рабочие от внешнего облучения в течение 10 ч на момент проведения практического занятия.

Решение

1. Определяем значение уровня загрязнения на момент проведения практического занятия (2016 г.) по формуле

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \quad (4.8)$$

где A – активность на время t ;

A_0 – активность в момент времени $t = 0$;

λ – постоянная времени распада:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}; \quad (4.9)$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = 15 \text{ Ки/км}^2.$$

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

Тогда

$$P_x = 15 \cdot 15 = 225 \text{ мкР/ч.}$$

3. Рассчитываем величину экспозиционной дозы облучения, которую получают рабочие за 10 часов работы из выражения (4.1):

$$X = \frac{P_x \cdot t_p}{K_{\text{осл}}} = \frac{225 \cdot 10}{1} = 2250 \text{ мкР.}$$

Задача 3. На объекте через 1 ч после ядерного взрыва уровень радиации составил 60 Р/ч. Определить количество смен, требуемое для проведения спасательных и других неотложных работ (СидНР) на открытой местности и продолжительность работы каждой смены, если на выполнение работ требуется 10 ч. Работы начнутся через 1,5 ч после взрыва, а допустимая доза облучения за время работ 30 Р.

Решение

1. Рассчитываем суммарную дозу облучения за время работы из выражения (4.5):

а) определяем уровень радиации в начале пребывания в зоне заражения (P_n) на время t_n из выражения (4.6):

$$P_n = \frac{P_1}{K_2} = \frac{60}{1,63} = 37 \text{ Р/ч};$$

б) определяем уровень радиации в конце пребывания в зоне заражения на время t_k , равное

$$t_k = t_n + t_p,$$

где t_p – продолжительность работы, ч.

Тогда

$$t_k = t_n + t_p = 1,5 + 10 \text{ ч.}$$

Следовательно,

$$P_k = \frac{P_1}{K_2} = \frac{60}{18,89} = 3,2 \text{ Р/ч},$$

так как K_2 для 11,5 ч (см. прил. 6) составляет 18,89.

Таким образом, суммарная доза облучения составит

$$X = \frac{5P_n \cdot t_n - 5P_k \cdot t_k}{K_{\text{осл}}} = \frac{5 \cdot 37 \cdot 1,5 - 5 \cdot 3,2 \cdot 11,5}{1} = 93,5 \text{ Р.}$$

2. Определяем потребное количество смен (N) из выражения (4.4):

$$N = \frac{X}{D_{\text{доп}}} = \frac{93,5}{30} \approx 3 \text{ смены.}$$

3. Определяем начало и продолжительность работы каждой смены. С этой целью рассчитываем относительную величину a из выражения (4.3):

$$a = \frac{P_1}{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{осл}}} = \frac{60}{30 \cdot 1} = 2.$$

Начало работы первой смены принимаем $t_{n1} = 1,5$ ч. Тогда продолжительность работы первой смены t_{p1} находим по прил. 7, она составит 1,5 ч.

Начало и продолжительность работы последующих смен:

$$t_{n2} = t_{n1} + t_{p1} = 1,5 + 1,5 = 3 \text{ ч}; t_{p2} = 4 \text{ ч.}$$

$$t_{n3} = t_{n2} + t_{p2} = 3 + 4 = 7 \text{ ч}; t_{p3} = 8 \text{ ч.}$$

Задача 4. Поверхность почвы загрязнена радионуклидом рутений-103 с поверхностной активностью 10 Ки/км². Рассчитать мощность эквивалентной дозы и эквивалентную дозу облучения населения за 1 год.

Решение

1. Мощность эквивалентной дозы рассчитывается по формуле

$$P_n = A_s \cdot B_{\text{сγ}}, \quad (4.10)$$

где A_s – поверхностная активность радионуклида, Ки/км²;

$B_{\text{сγ}}$ – дозовый коэффициент для гамма-излучения радионуклидов, определяемый по прил. 1. Этот коэффициент измеряется в Зв·м²/(Бк·с).

Тогда

$$P_n = A_s \cdot B_{\text{сγ}} = 3,7 \cdot 10^5 \cdot 2,68 \cdot 10^{-16} = 9,9 \cdot 10^{-11} \text{ Зв/с.}$$

2. Определим эквивалентную дозу облучения из выражения

$$H = P_n \cdot t = 9,9 \cdot 10^{-11} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 31,2 \cdot 10^{-4} \text{ Зв.}$$

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Рабочим предстоит вести работы на открытой местности, загрязненной цезием-137. Загрязнение произошло в результате аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 года. Уровень загрязнения на время аварии составил $A_{\text{изм}}$, Ки/км². Определить экспозиционную дозу облучения, которую получат рабочие от внешнего облучения в течение 36-часовой рабочей недели, работая N недель на момент проведения практического занятия. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные к задаче 1

Вариант	Уровень загрязнения $A_{\text{изм}}$, Ки/км ²	Время работы N , недель
1	10	5
2	25	7
3	45	6
4	50	4
5	15	8
6	20	9
7	30	20
8	35	18
9	55	16
10	60	14
11	40	12
12	45	10

Задача 2. Поверхность почвы загрязнена радионуклидом M с поверхностной активностью A_s , Ки/км². Определить мощность эквивалентной дозы и эквивалентную дозу облучения населения за год. Исходные данные для расчетов приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Исходные данные к задаче 2

Вариант	Радионуклид M	Активность A_s , Ки/км ²
1	Цезий ¹³⁷ Cs	10
2	Цезий ¹³⁴ Cs	5
3	Кобальт ⁶⁰ Co	4
4	Рутений ¹⁰³ Ru	15
5	Рутений ¹⁰⁶ Ru	20
6	Йод ¹³¹ I	15
7	Плутоний ²³⁹ Pu	40
8	Цезий ¹³⁷ Cs	14
9	Кобальт ⁶⁰ Co	3
10	Рутений ¹⁰⁶ Ru	25
11	Йод ¹³¹ I	10
12	Цезий ¹³⁴ Cs	7

Задача 3. Рабочие ведут работы внутри здания цеха, имеющего коэффициент ослабления $K_{осл}$ через t часов после аварии на атомной электростанции. Уровень радиации на t часов составлял $P_{изм}$, Р/ч. На время работы установлена доза $D_{доп}$, Р. Рассчитать допустимое время работы в здании цеха. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Исходные данные к задаче 3

Вариант	Коэффициент ослабления $K_{осл}$	Время начала работ после взрыва t , ч	Уровень радиации $P_{изм}$, Р/ч	Установленная доза $D_{доп}$, Р
1	4	1,5	50	25
2	5	2	45	20
3	7	2,5	60	30
4	4	2,5	40	30
5	4	2	65	25
6	6	2,5	60	20
7	4	1,5	70	25
8	3	2	55	30
9	4	1,5	65	20
10	4	2	70	25
11	6	2	60	20
12	3	2,5	40	30

Задача 4. Определить количество смен, необходимое для проведения спасательных и других неотложных работ на открытой местности и продолжительность работы каждой смены, если на выполнение работ требуется N часов. Работы начнутся через 1,5 ч после аварии, допустимая доза облучения за время работ $D_{доп}$, Р, а уровень радиации через 1 ч после аварии составил P_1 Р/ч. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Исходные данные к задаче 4

Вариант	Необходимое время на выполнение работ N , ч	Допустимая доза $D_{доп}$, Р	Уровень радиации на час после взрыва P_1 , Р/ч
1	10	25	50
2	12	30	40
3	11	35	45
4	10	30	55
5	9	25	48
6	13	30	52
7	8	20	48
8	10	35	40
9	1	30	35
10	9	35	40
11	10	40	35
12	9	30	50

Контрольные вопросы

1. Что понимают под радиационной обстановкой и в результате чего она может возникнуть?
2. Перечислите параметры радиационной обстановки и поясните их сущность.
3. Назовите способы оценки радиационной обстановки и поясните их сущность.
4. Поясните цели прогнозируемой радиационной обстановки.
5. Перечислите источники, из которых командиры невоенизированных формирований и штабы гражданской обороны могут получить исходные данные для оценки радиационной обстановки.
6. Назовите перечень исходных данных, необходимых для оценки радиационной обстановки при аварии на атомной электростанции.
7. Назовите перечень исходных данных, необходимых для оценки радиационной обстановки при ядерном взрыве.
8. Что понимают под выявлением и оценкой радиационной обстановки?
9. Кто устанавливает допустимую дозу облучения личному составу формирования на время ведения спасательных работ в очаге ядерного поражения?
10. Перечислите величины допустимых доз облучения, установленных на время чрезвычайных ситуаций, при однократном и многократном облучении.

Литература

1. Асаенок, И. С. Радиационная безопасность : учеб. пособие / И. С. Асаенок, Л. П. Лубашев, А. И. Навоша. – Минск : БГУИР, 2000.
2. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения / Г. П. Демиденко [и др.]. – Киев : Вища шк., 1989.
3. Выжить после Чернобыля / А. М. Люцко [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1990.
4. Чернобыльская катастрофа: причины и последствия (экспертное заключение). В 4 ч. / под ред. В. Б. Нестеренко, Д. С. Фирсовой. – Минск : Тест, 1993.

Практическая работа №5

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРСОНАЛА В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Теоретический материал

Одной из главных задач гражданской обороны является защита населения в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени. Объем и характер защитных мероприятий определяются особенностями отдельных объектов и районов, а также обстановки, которая может сложиться в результате чрезвычайных ситуаций.

В настоящее время планируются и проводятся в комплексе три основных способа защиты: укрытие населения в защитных сооружениях; эвакуация рабочих и служащих предприятий, учреждений и организаций в загородную зону; использование населением средств индивидуальной защиты.

Способ защиты населения будет зависеть от многих факторов, но основными из них будут особенности сложившейся обстановки, наличие времени для проведения защитных мероприятий и др. Сроки проведения защитных мероприятий могут оказаться крайне ограниченными, поэтому прежде всего необходимо укрытие населения в защитных сооружениях по месту его пребывания – на работе, учебе, по месту жительства.

Защитные сооружения (ЗС) – это сооружения, предназначенные для защиты населения от оружия массового поражения, а также от воздействия вторичных факторов при ядерных взрывах и применении обычных средств поражения. В зависимости от защитных свойств эти сооружения подразделяются на убежища, противорадиационные и простейшие укрытия.

Убежище – это сооружение, обеспечивающее надежную защиту людей от воздействия поражающих факторов оружия массового поражения. Надежность защиты достигается за счет прочности конструкций и перекрытий, а также создания санитарно-гигиенических условий, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность людей в убежище.

Убежище состоит из основных и вспомогательных помещений. К основным относятся помещения, в которых укрываются люди, тамбуры, шлюзы, а к вспомогательным – фильтровентиляционные камеры, дизельные электростанции, медицинская комната, санитарные узлы и др.

Помещения для размещения укрываемых рассчитываются на определенное количество людей: на одного человека предусматривается не менее 0,5 м² площади пола и 1,5 м³ внутреннего объема. В помещениях оборудуются двух- или трехъярусные нары-скамейки для сидения (на первом ярусе) и лежания (на втором и третьем ярусах). По месту размещения убежища могут быть встроенными и отдельно стоящими. Наиболее распространены встроенные убежища. Под них используют подвальные или полуподвальные этажи производственных, общественных и жилых зданий. При невозможности устройства встроенных убежищ

допускается строительство отдельно стоящих заглубленных убежищ. Такие убежища полностью или частично заглублены и осыпаны сверху и с боков грунтом. Расстояния от зданий и сооружений принимаются равными их высоте.

Каждое убежище имеет не менее двух входов, расположенных в противоположных сторонах с учетом направления движения основных потоков укрываемых, а встроенные убежища должны иметь и аварийный выход. Входы в убежища оборудуются в виде двух шлюзовых камер (тамбуров), отделенных от основного помещения и перегороденных между собой герметическими дверями. Снаружи входа размещается прочная защитно-герметическая дверь.

Убежище оборудуется различными инженерными системами: воздушно-снабжения, водоснабжения, электроснабжения, связи и др.

В фильтровентиляционной камере размещается фильтровентиляционный агрегат ФВА-49 (ФВК-1, -2). Он обеспечивает вентиляцию помещений убежища и очистку наружного воздуха от радиоактивных и отравляющих веществ, а также бактериальных средств.

Система фильтровентиляции может работать в трех режимах: чистой вентиляции, фильтровентиляции и регенерации. Режим чистой вентиляции применяется в том случае, когда воздух загрязнен радиационной пылью. Второй режим применяется для очистки воздуха от отравляющих и сильнодействующих ядовитых веществ, а также бактериальных средств. Третий режим применяется в случае попадания убежища в очаг пожара. При этом для защиты людей используется воздух, имеющийся в убежище, обогащенный кислородом.

Подача воздуха осуществляется по воздуховодам с помощью вентилятора. Количество наружного воздуха, подаваемого в убежище по режиму чистой вентиляции, определяется в зависимости от температуры воздуха и может быть от 7 до 20 м³/ч, а по режиму фильтровентиляции – от 2 до 8 м³/ч на каждого укрываемого человека.

Помещение для дизельной электростанции располагается у наружной стены укрытия, а от других помещений отделяется несгораемой стеной (перегородкой) с пределом огнестойкости 1 ч.

Водоснабжение и канализация убежища осуществляются на базе общих водопроводных и канализационных сетей. Кроме этого, в убежище предусматривается создание аварийных запасов воды. Минимальный запас воды в емкостях создают из расчета 6 л для питья и 4 л для санитарно-гигиенических потребностей на каждого укрываемого на весь расчетный срок пребывания.

Электроснабжение осуществляется от внешней электросети, а при необходимости – и от защищенной дизельной электростанции. На случай нарушения электроснабжения в убежище предусматривается аварийное освещение от переносных электрических фонарей, сухих батарей и других источников.

Убежище должно иметь телефонную связь с пунктом управления объекта и репродуктор, подключенный к радиотрансляционной сети.

Отопление в убежище осуществляется от общей отопительной системы здания. Для регулирования температуры и отключения отопления в отопительной системе устанавливают запорную арматуру.

В помещении убежища размещаются дозиметрические приборы, приборы радиационной и химической разведки, защитная одежда, средства тушения пожара и аварийного освещения, санитарное имущество.

В качестве показателя надежности защиты рабочих и служащих объекта с использованием ЗС принимают коэффициент надежности защиты ($K_{н.з}$). Он показывает, какая часть производственного персонала обеспечивается надежной защитой при ожидаемых максимальных параметрах поражающих факторов ядерного взрыва.

Определение надежности защиты производственного персонала производится в следующей последовательности.

1. Оценивается инженерная защита рабочих и служащих объекта. Показателем инженерной защиты является коэффициент $K_{инж.з}$. Он показывает, какая часть производственного персонала работающей смены может укрыться своевременно в ЗС объекта с требуемыми защитными свойствами и системами жизнеобеспечения, позволяющими укрывать людей в течение установленного срока:

$$K_{инж.з} = N_{инж.з} / N, \quad (5.1)$$

где $N_{инж.з}$ – суммарное количество укрываемых людей в установленные сроки в ЗС с требуемыми защитными свойствами и системами жизнеобеспечения;

N – общая численность рабочих и служащих, подлежащих укрытию.

2. Определяется возможность своевременного доведения сигналов оповещения ГО до рабочих и служащих. Показателем надежности защиты производственного персонала с учетом оповещения является коэффициент $K_{оп}$:

$$K_{оп} = N_{оп} / N, \quad (5.2)$$

где $N_{оп}$ – количество рабочих и служащих, своевременно оповещаемых из числа укрываемых в убежище.

3. Оценивается обученность производственного персонала способам защиты в чрезвычайных ситуациях (ЧС) и правилам действия по сигналам оповещения гражданской обороны (ГО). В качестве показателя, характеризующего подготовленность объекта к защите производственного персонала в зависимости от обученности людей, принимается коэффициент $K_{обуч}$:

$$K_{обуч} = N_{обуч} / N, \quad (5.3)$$

где $N_{обуч}$ – количество рабочих и служащих, обученных способам защиты и правилам действия по сигналам оповещения ГО, из числа своевременно укрываемых в убежищах.

4. Определяется готовность убежищ к приему укрываемых. Для этого определяется время, в течение которого убежища, используемые в мирное время в хозяйственных целях, могут быть подготовлены к приему укрываемых (освобождены от постороннего имущества, проверены на герметичность и функционирование всех систем жизнеобеспечения и т. д.).

Сравнение фактического времени подготовки убежища $T_{г.факт}$ с требуемым $T_{г.треб}$ определяет готовность убежища к приему укрываемых. Для оценки

надежности защиты в расчет принимаются только те ЗС, для которых выполняется условие

$$\frac{T_{г.факт}}{T_{г.треб}} \leq 1. \quad (5.4)$$

Показателем, характеризующим надежность защиты персонала в зависимости от готовности ЗС, является коэффициент $K_{гот}$:

$$K_{гот} = M_{гот} / N, \quad (5.5)$$

где $M_{гот}$ – количество мест в убежищах с требуемыми защитными свойствами и системами жизнеобеспечения, время готовности которых не превышает установленного.

5. Анализируются результаты оценки надежности по всем четырем частным показателям. На основе анализа определяется коэффициент надежности защиты рабочих и служащих объекта $K_{н.з}$. Коэффициент надежности защиты $K_{н.з}$ выбирается по минимальному значению из частных показателей – $K_{инж.з}$, $K_{оп}$, $K_{обуч}$, $K_{гот}$.

Значения показателей $K_{оп}$, $K_{обуч}$ и $K_{гот}$ во многом зависят от состава и уровня организационных мероприятий, проводимых руководящим составом и штабом ГО объекта. Выбор путей повышения этих показателей является скорее организационной и тактической задачей, нежели инженерной. Так, низкое значение $K_{оп}$ обусловлено несовершенством системы оповещения рабочих и служащих, $K_{обуч}$ – неподготовленностью персонала, $K_{гот}$ – неготовностью убежищ к приему укрываемых.

Коэффициенты $K_{оп}$, $K_{обуч}$ и $K_{гот}$ могут быть рассчитаны только на базе сведений по конкретному объекту. В дальнейшем, решая задачу оценки коэффициента надежности защиты $K_{н.з}$, показатели $K_{оп}$, $K_{обуч}$ и $K_{гот}$ будем считать заданными. Поэтому решение задачи по оценке $K_{н.з}$ будет сводиться к оценке инженерной защиты производственного персонала, т. е. к определению $K_{инж.з}$.

Оценка инженерной защиты рабочих и служащих на объекте заключается в определении показателей, характеризующих способность ЗС обеспечить надежную защиту людей. Это возможно при выполнении следующих основных условий: общая вместимость ЗС на объекте позволяет укрывать работающий персонал; защитные свойства ЗС соответствуют требуемым, т. е. обеспечивают защиту людей от избыточного давления ударной волны и радиационных излучений, ожидаемых на объекте при ядерном взрыве; системы жизнеобеспечения ЗС обеспечивают жизнедеятельность укрываемых в течение установленного срока; размещение ЗС относительно мест работы позволяет людям укрыться по сигналам оповещения ГО в установленные сроки. На основании данной оценки намечаются меры по повышению надежности защиты производственного персонала.

Для оценки защиты рабочих и служащих объекта необходимо иметь следующие исходные сведения:

- а) удаление объекта от вероятной точки прицеливания R_r , км;
 - б) ожидаемая мощность ядерного боеприпаса q , кт, и вид взрыва;
 - в) вероятное максимальное отклонение боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк}$, км;
 - г) данные о среднем ветре: $V_{с.в}$ – скорость среднего ветра, преобладающего в районе расположения объекта, км/ч; направление среднего ветра (принимается самое неблагоприятное – в сторону объекта);
 - д) общее количество рабочих и служащих, подлежащих укрытию;
 - е) распределение рабочих и служащих по участкам работ и их удаление от ЗС;
 - ж) характеристики ЗС: типы ЗС (убежище, противорадиационное укрытие (ПРУ)); избыточное давление, которое выдерживают конструкции сооружения ($P_{ф.защ}$); коэффициент ослабления радиации $K_{осл}$ ограждающих конструкций, сооружения или материала и толщина каждого защитного слоя перекрытия; основные и вспомогательные помещения и их размеры (площадь, высота); тип и состав элементов воздухооборудования; объем резервных емкостей систем водо- и электроснабжения;
 - з) климатическая зона (I, II, III, IV) района расположения объекта.
- Оценка инженерной защиты производственного персонала проводится по этапам, методика которых приведена в подразд. 5.1 – 5.4.

5.1. Оценка защитных сооружений по вместимости

Вместимость ЗС объекта определяется в соответствии с нормами объемно-планировочных решений. Помещения для укрываемых строятся из расчета, чтобы на одного укрываемого приходилось $S_1 = 0,5 \text{ м}^2$ площади пола при двухъярусном и $S_1 = 0,4 \text{ м}^2$ при трехъярусном расположении нар. Нижний ярус для сидения – из расчета $0,45 \cdot 0,45$ м на человека и верхний – для лежания – из расчета $0,55 \cdot 1,8$ м на человека. При длине нар 180 см число мест для лежания составляет 20 % вместимости убежища при двухъярусном расположении нар и 30 % – при трехъярусном. Двухъярусные нары устанавливаются при высоте помещения от 2,15 до 2,9 м, трехъярусные – при высоте более 2,9 м. Внутренний объем помещения V_1 должен быть не менее $1,5 \text{ м}^3$ на укрываемого. При определении объема помещения на одного укрываемого учитывается объем всех помещений в зоне герметизации V_0 .

С учетом изложенного возможность укрытия наибольшей работающей смены оценивается в следующей последовательности:

1. Рассчитывается количество мест для укрываемых M на имеющейся площади S_n исходя из установленных норм на одного человека S_1 :

$$M = S_n / S_1. \quad (5.6)$$

2. Проверяется соответствие объема помещений в зоне герметизации на одного укрываемого. Для этого рассчитывается объем всех помещений в зоне герметизации V_0 по общей площади всех помещений в зоне S_0 и высоте помещения $h_{в.п}$:

$$V_0 = S_0 \cdot h_{в.п}. \quad (5.7)$$

Тогда объем помещений, приходящийся на одного укрываемого,

$$V_1 = V_0 / M. \quad (5.8)$$

Если $V_1 \geq 1,5 \text{ м}^3/\text{чел.}$, то расчетная вместимость M принимается за фактическую вместимость ЗС.

3. Определяется необходимое количество нар: при установке двухъярусных нар $N = M/5$ и при установке трехъярусных нар $N = M/6$.

4. Определяется показатель $K_{вм}$, характеризующий защитное сооружение по вместимости:

$$K_{вм} = M / N, \quad (5.9)$$

где N – численность персонала, подлежащего укрытию.

По результатам расчетов делается вывод о возможности укрытия рабочих и служащих объекта в ЗС.

5.2. Оценка защитных сооружений по защитным свойствам

На этом этапе определяются защитные свойства ЗС и оценивается возможность надежной защиты укрываемых людей от воздействия избыточного давления ударной волны и радиационных излучений, ожидаемых на объекте. Оценка возможностей надежной защиты людей в сооружении проводится в следующей последовательности.

1. Определяются требуемые защитные свойства ЗС $\Delta P_{ф.треб}$ и $K_{осл.треб}$:

а) требуемая прочность ЗС по ударной волне $\Delta P_{ф.треб}$ должна соответствовать максимальному значению избыточного давления $\Delta P_{ф.макс}$, ожидаемого на объекте, т. е. $\Delta P_{ф.треб} = \Delta P_{ф.макс}$. Значение избыточного давления во фронте ударной волны $\Delta P_{ф.макс}$ определяется по прил. 8.

Для этого рассчитывается минимальное расстояние R_x от вероятного центра взрыва из соотношения

$$R_x = R_r - R_{отк}, \quad (5.10)$$

где R_r – удаление объекта от вероятной точки прицеливания, км;

$R_{отк}$ – вероятное максимальное отклонение боеприпаса от точки прицеливания.

Избыточное давление ударной волны выражают во внесистемных единицах $\text{кгс}/\text{см}^2$, учитывая, что $1 \text{ кгс}/\text{см}^2 \cong 100 \text{ кПа}$;

б) требуемый коэффициент ослабления радиации от радиоактивного заражения $K_{осл.рз.треб}$ определяют по формуле

$$K_{\text{осл.рз.треб}} = \frac{D_{\text{рз max}}}{D_{\text{доп}}} = \frac{5P1_{\text{max}} (t_{\text{н}}^{-0,2} - t_{\text{к}}^{-0,2})}{50}, \quad (5.11)$$

где $D_{\text{рз max}}$ – максимальная доза на открытой местности за 4 сут;

$P1_{\text{max}}$ – максимальный уровень радиации на 1 ч после взрыва, ожидаемый на объекте и определяемый по прил. 10;

$D_{\text{доп}}$ – предельно допустимая доза однократного облучения (50 Р) за 4 сут (96 ч) с момента заражения местности радиоактивными веществами;

$t_{\text{н}}$ – время заражения относительно момента взрыва (ч), определяется из выражения

$$t_{\text{н}} = R_x / V_{\text{с.в}} + t_{\text{вып}}, \quad (5.12)$$

здесь $V_{\text{с.в}}$ – скорость ветра;

$t_{\text{вып}}$ – время выпадения радиоактивных веществ (в среднем можно принять равным 1 ч);

$t_{\text{к}}$ – время окончания заражения, ч, рассчитываемое из соотношения

$$t_{\text{к}} = t_{\text{н}} + 96 \text{ ч.}$$

Если в районе расположения объекта ожидается действие проникающей радиации, то ее дозу необходимо рассчитывать (см. прил. 9) путем суммирования с величиной $D_{\text{рз max}}$.

2. Определяется защитное свойство ЗС от действия ударной волны, т. е. избыточное давление $P_{\text{ф.защ}}$, на которое рассчитаны элементы конструкций ЗС. Значение $P_{\text{ф.защ}}$ приводится в характеристике ЗС.

3. Определяется защитное свойство ЗС от радиационного излучения, т. е. коэффициент ослабления радиации $K_{\text{осл.защ}}$. Он приводится в характеристике ЗС или может быть получен расчетным путем:

$$K_{\text{осл.защ}} = K_{\text{р}} \cdot \prod_{i=1}^n 2^{h_i/d_i}, \quad (5.13)$$

где $K_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий расположение убежища, определяемый по прил. 11;

n – число защитных слоев материалов перекрытия ЗС;

h_i – толщина i -го защитного слоя;

d_i – толщина i -го слоя половинного ослабления радиации, см (определяется по прил. 12).

4. Выбираются защитные сооружения, у которых защитные свойства не ниже требуемых. Определяется показатель $K_{\text{з.т}}$, характеризующий инженерную защиту рабочих и служащих объекта по защитным свойствам:

$$K_{\text{з.т}} = N_{\text{з.т}} / N,$$

где $N_{\text{з.т}}$ – количество укрываемых в защитных сооружениях с защитными свойствами не ниже требуемых;

N – количество рабочих и служащих, подлежащих укрытию.

В выводах указывается, какие ЗС не соответствуют требованиям по защитным свойствам и какие мероприятия необходимо провести по повышению их защитных свойств.

5.3. Оценка систем жизнеобеспечения защитных сооружений

Для обеспечения жизнедеятельности укрываемых ЗС оборудуются системами воздухообеспечения, водоснабжения, электроснабжения и другими, оценка которых производится отдельно.

1. *Оценка системы воздухообеспечения.* Расчет оборудования этой системы ведется обычно для двух режимов работы: чистой вентиляции (режим I) и фильтровентиляции (режим II).

Количество наружного воздуха, которое должно подаваться в убежище, принимается: по режиму I – 8, 10, 11 и 13 м³/ч на одного человека при температуре наружного воздуха соответственно до 20 °С (I климатическая зона), 20...25 °С (II зона), 25...30 °С (III зона) и более 30 °С (IV зона); по режиму II – 2 м³/ч на одного укрываемого.

Для воздухообеспечения убежищ применяются фильтровентиляционные комплекты ФВК-1 и ФВК-2. ФВК-1 обеспечивает I и II режимы вентиляции, ФВК-2 – все три режима вентиляции: в режиме I – 1200 м³ воздуха в час, в режиме II – 300 м³/ч. При недостаточной подаче воздуха вышеуказанными комплектами предусматривается установка дополнительных электроручных вентиляторов ЭРВ-72-2 (расчетная подача воздуха 900 – 1300 м³/ч) или ЭРВ-72-3 (подача воздуха 1300 – 1800 м³/ч).

Определяется количество укрываемых, которое система может обеспечить очищенным воздухом, $N_{\text{о.возд}}$ в режимах I(II), исходя из норм $W_{\text{I(II)}}$ подачи воздуха на одного человека в час:

$$N_{\text{о.возд}} \text{ I(II)} = \frac{W_{\text{о}} \text{ I(II)}}{W_{\text{I(II)}}}, \quad (5.14)$$

где $W_{\text{о}} \text{ I(II)}$ – общая производительность системы в заданном режиме, м³/ч;

$W_{\text{I(II)}}$ – норма подачи воздуха на одного человека в час, м³/(ч·чел.).

При необходимости система воздухообеспечения оценивается также по режиму III и делаются выводы о ее возможностях.

2. *Оценка системы водоснабжения.* Для этого определяется запас воды в имеющихся емкостях $W_{\text{з.вод}}$, сут·л, размещенных в ЗС. Рассчитывается возможность системы по количеству укрываемых $N_{\text{о.вод}}$, чел., обеспечиваемых водой в течение заданного срока C , сут, исходя из установленной нормы (3 л) на одного укрываемого в сутки $W_{\text{вод}}$, л/чел.:

$$N_{\text{о.вод}} = \frac{W_{\text{з.вод}}}{W_{\text{вод}} \cdot C}. \quad (5.15)$$

По результатам расчета делаются соответствующие выводы.

3. *Оценка системы электроснабжения.* Электроснабжение ЗС обеспечивается от сети предприятия (города). Оценивая систему электроснабжения, важно изыскать источники, которые обеспечат работу ЗС в аварийном режиме,

т. е. при отключении электросети. Аварийными источниками в больших ЗС являются дизельные электростанции, а в малых и средних – аккумуляторные батареи, электрические фонари и др.

На основании частных оценок систем жизнеобеспечения выводится общая оценка по минимальному показателю (коэффициенту) $K_{ж.о}$ одной из систем:

$$K_{ж.о} = N_{ж.о} / N, \quad (5.16)$$

где $N_{ж.о}$ – наименьшее количество укрываемых людей.

5.4. Оценка защитных сооружений по своевременному укрытию производственного персонала

Для оценки ЗС по своевременному укрытию производственного персонала необходимо знать:

а) расстояние до рабочих участков относительно ЗС и количество человек, работающих на них;

б) время на укрытие рабочих (не более 8 мин).

При этом расстояние 100 м человек ускоренным шагом проходит в среднем за 2 мин; на то чтобы зайти в ЗС и занять в нем место, требуется 2 мин.

Имея сведения по пп. «а» и «б», оценка ЗС по своевременному укрытию персонала производится в следующей последовательности:

1) определяется время, необходимое рабочим, чтобы дойти до ЗС и занять в нем место;

2) сравнивается необходимое время для укрытия рабочих с заданным;

3) рассчитывается показатель (коэффициент) $K_{своев}$, характеризующий инженерную защиту объекта по своевременному укрытию персонала:

$$K_{своев} = N_{своев} / N, \quad (5.17)$$

где $N_{своев}$ – число рабочих, которые в установленные сроки смогут укрыться в ЗС;

4) делаются выводы о расположении ЗС по своевременному укрытию всех рабочих.

Общая оценка коэффициента инженерной защиты $K_{инж.з}$ определяется по минимальному значению одного из коэффициентов $K_{вм}$, $K_{з.т}$, $K_{ж.о}$ и $K_{своев}$.

На заключительном этапе работы определяется коэффициент надежности защиты работающей смены объекта $K_{н.з}$ по минимальному значению из рассчитанного $K_{инж.з}$ и заданных $K_{оп}$, $R_{обуч}$, $R_{гот}$. Затем намечаются пути и меры по повышению надежности защиты рабочих и служащих объекта.

Примеры решения задач

Задача. Определить коэффициент надежности защиты ($K_{н.з}$) производственного персонала работающей смены объекта и предложить меры по его повышению при следующих исходных сведениях.

Объект расположен во II климатической зоне и имеет встроенное убежище со следующим основным оборудованием: система воздухообеспечения, включающая три комплекта ФВК-1 и один комплект ЭРВ-72-2; водоснабжение – от общезаводской системы; система энергоснабжения – от сети объекта; аварийный источник – аккумуляторные батареи. На объекте не ожидается сильных пожаров и загазованности воздуха вредными веществами.

Конструкция убежища рассчитана на динамические нагрузки, создаваемые избыточным давлением $\Delta P_{ф.защ} = 1$ кгс/см². Перекрытия убежища состоят из двух слоев – бетона $h_1 = 40$ см и грунта $h_2 = 25$ см. Площадь помещений убежища S_0 : помещения для укрываемых $S_n = 285$ м², другие площади в зоне герметизации (тамбур-шлюз – 10 м², санитарный пост – 2 м², вспомогательные помещения – 68,5 м²) $S_{доп} = 80,5$ м². Высота помещения $h_{в.п} = 2,4$ м. Объем емкостей аварийного запаса воды 5400 л.

Общее количество рабочих и служащих на объекте $N = 710$ чел. Они распределены по двум участкам с удалением от убежища: участок 1 (200 чел.) – на расстояние 100 м, участок 2 (510 чел.) – на расстояние 300 м.

Время на заполнение убежища укрываемыми людьми $t_{зап} \leq 8$ мин.

Продолжительность непрерывного пребывания людей в убежище $T = 3$ сут.

Удаление объекта от вероятной точки прицеливания $R_r = 5,1$ км.

Ожидаемая мощность ядерного боеприпаса $q = 1$ Мт, взрыв – наземный.

Вероятное максимальное отклонение боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 1,1$ км.

Скорость среднего ветра $V_{с.в} = 50$ км/ч с направлением в сторону объекта.

Показатель, характеризующий своевременность оповещения рабочих и служащих по сигналам ГО, $K_{оп} = 0,9$.

Показатель обученности рабочих и служащих правилам действий по сигналам оповещения ГО $K_{обуч} = 0,8$.

Показатель, характеризующий убежище по времени приведения в готовность к приему укрываемых, $K_{гот} = 1$.

Решение

Оценку инженерной защиты рабочих и служащих объекта производим согласно методике, изложенной выше, используя исходные сведения задачи на каждом этапе решения.

Оценка убежища по вместимости

Исходные сведения: площадь и высота помещений убежища; численность рабочих и служащих объекта.

Определяем количество мест для размещения укрываемых. Так как высота помещений убежища менее 2,9 м и позволяет установить двухъярусные нары, принимаем в качестве расчетной нормы площади на одного укрываемого $S_1 = 0,5 \text{ м}^2/\text{чел}$. Тогда расчетное количество мест в убежище M на площади для укрываемых S_n составит

$$M = S_n / S_1 = 285 / 0,5 = 570. \quad (5.18)$$

Найденное число определяет вместимость убежища при условии, что объем помещений в зоне герметизации V_o в расчете на одного укрываемого не менее $1,5 \text{ м}^3/\text{чел}$. Проверяем соответствие объема нормам на одного укрываемого:

$$V_1 = V_o / M = S_o \cdot h_{\text{в.п}} / M,$$

где S_o – общая площадь помещений в зоне герметизации;

$h_{\text{в.п}}$ – высота помещений, м.

Следовательно,

$$V_1 = 365,5 \cdot 2,4 / 570 = 1,54 \text{ м}^3/\text{чел}. \quad (5.19)$$

Таким образом, вместимость убежища соответствует расчетному количеству мест при $M = 570$.

Определяем необходимое количество нар для размещения укрываемых. Двухъярусные нары при длине 180 см позволяют разместить 5 человек, поэтому необходимо рассчитать число нар N :

$$N = 570 / 5 = 114 \text{ нар}. \quad (5.20)$$

Определяем коэффициент вместимости $K_{\text{вм}}$, характеризующий возможности убежища по укрытию рабочих и служащих объекта:

$$K_{\text{вм}} = M / N = 570 / 710 = 0,8. \quad (5.21)$$

Таким образом, убежище позволяет принять 80 % персонала; для размещения укрываемых в убежищах необходимо установить 114 двухъярусных нар, обеспечивающих 20 % мест для лежания и 80 % мест для сидения.

Оценка убежища по защитным свойствам

Исходные сведения: удаление объекта от точки прицеливания и вероятное отклонение от нее боеприпаса; ожидаемая мощность ядерного боеприпаса и вид взрыва; скорость среднего ветра; динамические нагрузки, выдерживаемые конструкциями убежища ($\Delta P_{\text{ф.защ}}$), и характеристики перекрытия (виды материалов и толщина слоев).

Определяем требуемые защитные свойства убежища:

1. По ударной волне – рассчитываем максимальное избыточное давление ударной волны, ожидаемое на объекте при ядерном взрыве ($\Delta P_{\text{ф.треб}}$). Для этого находим минимальное расстояние до вероятного центра взрыва:

$$R_x = R_r - R_{\text{отк}} = 5,1 - 1,1 = 4 \text{ км}. \quad (5.22)$$

По прил. 8, зная значения $R_x = 4$ км и $q = 1$ Мт для наземного взрыва, находим $\Delta P_{\phi \max}$. Оно составляет

$$\Delta P_{\phi \max} = 0,5 \text{ кгс/см}^2. \quad (5.23)$$

2. По радиационным излучениям – определяем требуемый коэффициент ослабления радиации по формуле

$$K_{\text{осл.рз.треб}} = \frac{D_{\text{рз max}}}{50} = \frac{5 \cdot P_{1\text{max}} \left(t_{\text{н}}^{-0,2} - t_{\text{к}}^{-0,2} \right)}{50}, \quad (5.24)$$

где $P_{1\text{max}}$ – максимальный уровень радиации, ожидаемый на объекте, определяемый по прил. 10, при $R_x = 4$ км и $V_{\text{с.в}} = 50$ км/ч, $P_{1\text{max}} = 31\,000$ Р/ч;

$$t_{\text{н}} = R_x / V_{\text{с.в}} + t_{\text{вып}} = 4 / 50 + 1 = 0,08 + 1 = 1 \text{ ч}, \quad (5.25)$$

здесь $t_{\text{вып}}$ – время выпадения радиоактивных веществ, равное в среднем 1 ч;

$$t_{\text{к}} = t_{\text{н}} + 96 = 1 + 96 = 97 \text{ ч}, \quad (5.26)$$

здесь 96 – период однократного облучения (4 суток), ч.

Тогда

$$K_{\text{осл.рз.треб}} = \frac{5 \cdot 31\,000 \left(1^{-0,2} - 97^{-0,2} \right)}{50} = 1860. \quad (5.27)$$

Действия проникающей радиации на объекте при $R_x = 4$ км не ожидается (см. прил. 9).

Определяем защитные свойства убежища:

- а) от ударной волны – согласно исходным сведениям $\Delta P_{\phi \text{защ}} = 1$ кгс/см²;
- б) от радиоактивного заражения – коэффициент ослабления радиации убежищем не задан, поэтому определяем его расчетным путем по формуле

$$K_{\text{осл.защ}} = K_p \cdot \prod_{i=1}^n 2^{h_i/d_i}.$$

Известно, что перекрытие убежища состоит из двух слоев ($n = 2$): слоя бетона h_1 (40 см) и слоя грунта h_2 (25 см). Толщина слоев половинного ослабления материалов от радиоактивного заражения (см. прил. 12) составляет для бетона $d_1 = 5,7$ см, для грунта $d_2 = 8,1$ см. Коэффициент K_p , учитывающий расположение убежища, находим по прил. 11. Для встроенного убежища, расположенного внутри производственного комплекса, $K_p = 8$. Тогда

$$K_{\text{осл.защ}} = 8 \cdot 2^{40/5,7} \cdot 2^{25/8,1} = 8200.$$

Сравниваем защитные свойства убежища с требуемыми: $\Delta P_{\phi \text{защ}} = 1$ кгс/см² и $\Delta P_{\phi \text{треб}} = 0,5$ кгс/см², $K_{\text{осл.защ}} = 8200$ и $K_{\text{осл.треб}} = 1860$. Следовательно, $\Delta P_{\phi \text{защ}} > \Delta P_{\phi \text{треб}}$, $K_{\text{осл.защ}} > K_{\text{осл.треб}}$, т. е. по защитным свойствам убежище обеспечивает защиту людей при вероятных значениях параметров поражающих факто-

ров ядерного взрыва. Определяем показатель, характеризующий инженерную защиту рабочих и служащих объекта $K_{з.т}$ по защитным свойствам:

$$K_{з.т} = N_{з.т} / N = 570 / 710 = 0,8,$$

где $N_{з.т}$ – количество укрываемых людей в защитных сооружениях с требуемыми защитными свойствами.

Таким образом, защитные свойства убежища обеспечивают защиту 80 % рабочей смены (570 чел.), т. е. всех рабочих и служащих, вмещающихся в убежище.

Оценка систем жизнеобеспечения убежища

Системы воздушноснабжения

Исходные сведения: система воздушноснабжения включает три комплекта ФВК-1 и один ЭРВ-72-2; объекты расположены во II климатической зоне (температура наружного воздуха 20...25 °С).

Определяем возможности системы в режиме I (чистой вентиляции). Так как подача воздуха одним комплектом ФВК-1 в режиме I составляет 1200 м³/ч, а ЭРВ-72-2 – 900 м³/ч, то подача системы в режиме I:

$$W_{0I} = 3 \cdot 1200 + 900 = 4500 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Исходя из нормы подачи воздуха на одного укрываемого в режиме I, для II климатической зоны $WI = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$, система может обеспечить воздухом

$$N_{\text{о.возд}} I = W_{0I} / WI = 4500 / 10 = 450 \text{ чел}.$$

Определяем возможности системы в режиме II (фильтровентиляции). Исходя из того, что подача воздуха одним комплектом ФВК-1 в режиме II составляет 300 м³/ч, общая подача системы в режиме II составит

$$W_{0II} = 3 \cdot 300 = 900 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Исходя из нормы подачи воздуха на одного укрываемого в режиме фильтровентиляции $WII = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$, система может обеспечить воздухом

$$N_{\text{о.возд}} II = W_{0II} / WII = 900 / 2 = 450 \text{ чел}.$$

Определяем возможности системы в режиме III (регенерации). В комплекте ФВК-1 не имеется регенеративной установки РУ-150/6, поэтому режим III системой не обеспечивается. По условию обстановки не ожидается сильной загазованности атмосферы, поэтому можно обойтись без режима III.

Таким образом, система воздушноснабжения может обеспечить воздухом в требуемых режимах (I и II) только 450 укрываемых, что значительно меньше расчетной вместимости убежища (570 чел.).

Системы водоснабжения

Исходные сведения: водоснабжение укрываемых в убежище обеспечивается от общезаводской системы; аварийный запас имеется в проточных емкостях вместимостью 5400 л; продолжительность укрытия 3 сут.

Исходя из норм на одного укрываемого 3 л в сутки, находим, что система способна обеспечить водой:

$$N_{\text{о.вод}} = W_{\text{о.вод}} / (3 \cdot 3) = 5400 / 9 = 600 \text{ чел}.$$

Таким образом, водой могут быть обеспечены укрываемые на расчетную вместимость убежища.

Системы электроснабжения

Исходные сведения: электроснабжение убежища обеспечивается от сети объекта; аварийный источник – аккумуляторные батареи; работа систем воздухообмена в режиме регенерации не предусматривается.

Из анализа возможных ситуаций следует, что в случае отключения сети объекта работу системы воздухообмена можно обеспечить вручную, так как комплект ФВК-1 включает электроручной вентилятор. Аварийный источник электроснабжения от аккумуляторных батарей будет использован только для освещения убежища.

Таким образом, система электроснабжения в аварийном режиме обеспечивает только освещение убежища, а работа системы воздухообмена осуществляется ручным приводом.

Оценив системы воздухо-, водо- и электроснабжения, определяем показатель (коэффициент) $K_{ж.о}$, характеризующий возможности инженерной защиты объекта по жизнеобеспечению укрываемых. Наименьшее количество укрываемых может обеспечить система воздухообмена – 450 чел.

Тогда

$$K_{ж.о} = \frac{450}{710} \cong 0,63.$$

Таким образом, системы жизнеобеспечения позволяют обеспечить жизнедеятельность 63 % работающей смены в полном объеме норм в течение установленной продолжительности (3 сут). Возможности по жизнеобеспечению укрываемых снижает система воздухообмена.

Оценка убежища по своевременному укрытию

Исходные сведения: расположение рабочих – участок 1 (200 чел.) на расстоянии 100 м от убежища, участок 2 (510 чел.) на расстоянии 300 м от убежища; время на укрытие людей – не более 8 мин.

Определяем время, необходимое рабочим, чтобы дойти до убежища и занять в нем место. Известно, что расстояние 100 м человек ускоренным шагом проходит в среднем за 2 мин, а чтобы зайти в убежище и занять место также требуется 2 мин. Тогда для рабочих участка 1 требуется максимум времени $t_3 = 2 + 2 = 4$ мин, а для рабочих участка 2 – 8 мин.

Сравниваем необходимое время для укрытия людей с заданным и убеждаемся, что условия расположения убежища обеспечивают своевременное укрытие всех рабочих $N_{своев} = 200 + 510 = 710$ чел.

Определяем показатель, характеризующий инженерную защиту объекта по своевременному укрытию персонала:

$$K_{своев} = N_{своев} / N = 710 / 710 = 1.$$

Таким образом, расположение убежища позволяет своевременно укрыть всех рабочих.

В ходе расчетов получены следующие показатели, характеризующие инженерную защиту рабочих и служащих объекта: по вместимости $K_{\text{вм}} = 0,8$; по защитным свойствам $K_{\text{з.т}} = 0,8$; по жизнеобеспечению укрываемых $K_{\text{ж.о}} = 0,63$; по своевременному укрытию людей $K_{\text{своев}} = 1,0$.

Возможности инженерной защиты в целом характеризуются минимальным показателем, т. е. $K_{\text{инж.з}} = 0,63$.

Далее определяем коэффициент надежности защиты $K_{\text{н.з}}$ работающей смены объекта. Из условий задачи известно, что $K_{\text{оп}} = 0,9$; $K_{\text{обуч}} = 0,8$; $K_{\text{гот}} = 1$; коэффициент инженерной защиты при расчетах составил $K_{\text{инж.з}} = 0,63$. Коэффициент надежности защиты выбирается по минимальному значению перечисленных выше коэффициентов. Следовательно,

$$K_{\text{н.з}} = 0,63.$$

Так как коэффициент надежности защиты существенно снижен из-за ограниченной возможности системы воздуховоснабжения, то необходимо дооборудовать эту систему одним комплектом ФВК-1. Возможности системы воздуховоснабжения в режиме I при таком дополнении составят: $W_0 I = 4 \cdot 1200 + 900 = 5700 \text{ м}^3/\text{ч}$, а в режиме II – $W_0 II = 4 \cdot 300 = 1200 \text{ м}^3/\text{ч}$. Тогда система может обеспечить в режиме I – $N_{\text{о.возд}} I = W_0 I / W I = 5700 / 10 = 570 \text{ чел.}$, а в режиме II – $N_{\text{о.возд}} II = W_0 II / W II = 1200 / 2 = 600 \text{ чел.}$

Следовательно, повышение возможности системы после дооборудования одним комплектом ФВК-1 позволит увеличить численность защищаемых до полной вместимости убежища – 570 чел. и показатель защиты объекта по жизнеобеспечению повысится до $K_{\text{ж.о}} = N_{\text{ж.о}} / N = 570 / 710 = 0,8$. Возможности инженерной защиты в целом, определяемые минимальным показателем из $K_{\text{вм}}, K_{\text{з.т}}, K_{\text{ж.о}}, K_{\text{своев}}$, теперь будут характеризоваться единой величиной:

$$K_{\text{вм}} = K_{\text{з.т}} = K_{\text{ж.о}} = 0,8.$$

Для обеспечения инженерной защиты всего состава работающей смены 710 чел. требуется построить дополнительно одно убежище вместимостью 140 чел. После реализации данных предложений коэффициент надежности защиты будет зависеть только от показателя обученности $K_{\text{обуч}}$ и своевременности оповещения $K_{\text{оп}}$.

Задачи для самостоятельной работы

Определить коэффициент надежности защиты ($K_{\text{н.з}}$) рабочих и служащих работающей смены объекта и предложить меры по его повышению. Исходные данные для определения $K_{\text{н.з}}$ приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Исходные данные к задаче

Параметр		Номер варианта					
		1	2	3	4	5	6
Тип и размещение ЗС		Убежище встроенное					
Основное оборудование убежища		Воздухоснабжение – 3 комплекта ФВК-1; 1 комплект ЭВР-72-2. Водоснабжение – от общезаводской системы; аварийный запас воды – 5400 л. Электроснабжение – от сети объекта; аварийный источник питания – аккумуляторные батареи					
Другие характеристики убежища: расчетные нагрузки $\Delta P_{\text{ф.защ}}$, кгс/см ²		1	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0
перекрытие, см	слой бетона h_1	35	40	45	50	55	60
	слой грунта h_2	20	25	30	35	40	45
площади помещений, м ²	S_n	265	275	285	295	300	310
	$S_{\text{доп}}$	100	95	90	85	80	75
высота помещений, м		2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1
Персонал участка 1 N_1 , чел.		390	243	296	300	431	370
Персонал участка 2 N_2 , чел.		300	450	400	399	431	500
Удаление от убежища, м	участка 1	50	100	150	200	250	300
	участка 2	300	250	200	150	100	50
Время на укрытие t_3 , мин		8	9	10	9	8	8
Продолжительность пребывания T , сут		2	3	2	3	2	3
Удаление объекта от вероятной точки прицеливания R_r , км		4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4
Мощность боеприпаса q , кт		100	200	300	500	1000	1000
Вид взрыва		Воздушный			Наземный		
Вероятное отклонение $R_{\text{отк}}$, км		2,4	2,1	1,75	1,8	1,0	1,1
Скорость ветра $V_{\text{с.в}}$, км/ч		25	25	25	50	50	50
Частные показатели	$K_{\text{оп}}$	0,9	0,9	0,9	0,95	0,95	0,95
	$K_{\text{обуч}}$	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85
	$K_{\text{гот}}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Климатическая зона		1	2	3	1	2	3
Основное оборудование убежища		Воздухоснабжение – 3 комплекта ФВК-1; 1 комплект ЭВР-72-2. Водоснабжение – от общезаводской системы; аварийный запас воды – 5400 л. Электроснабжение – от сети объекта; аварийный источник питания – аккумуляторные батареи					

Параметр		Номер варианта					
		7	8	9	10	11	12
Тип и размещение ЗС		Убежище встроенное					
Другие характеристики убежища: расчетные нагрузки $\Delta P_{\text{ф.защ}}$, кгс/см ²		1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0
перекрытие, см	слой бетона h_1	45	35	55	40	35	45
	слой грунта h_2	25	30	35	45	40	35
площади помещений, м ²	S_n	320	330	340	350	360	370
	$S_{\text{доп}}$	70	65	60	55	50	45
высота помещений, м		3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7
Персонал участка 1 N_1 , чел.		479	437	394	302	459	525
Персонал участка 2 N_2 , чел.		400	450	500	600	450	400
Удаление от убежища, м	участка 1	350	200	250	300	250	100
	участка 2	50	150	100	250	80	150
Время на укрытие t_3 , мин		9	8	8	9	8	8
Продолжительность пребывания T , сут		2	3	2	3	2	3
Удаление объекта от вероятной точки прицеливания R_r , км		4,8	5,2	5,1	5,0	5,3	5,5
Мощность боеприпаса q , кт		100	200	300	500	1000	1000
Вид взрыва		Воздушный			Наземный		
Вероятное отклонение $R_{\text{отк}}$, км		2,3	2,3	1,75	0,6	0,8	1,0
Скорость ветра $V_{\text{с.в}}$, км/ч		25	25	25	50	50	50
Частные показатели	$K_{\text{оп}}$	0,9	0,9	0,9	0,95	0,95	0,95
	$K_{\text{обуч}}$	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85
	$K_{\text{гот}}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Климатическая зона		1	2	3	1	2	3

Примечание. На объекте не ожидается сильных пожаров и загазованности воздуха вредными веществами.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные способы защиты населения в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени.
2. Что понимают под защитными сооружениями и на какие виды они подразделяются?
3. С помощью каких показателей оценивают защитные свойства убежищ?
4. Каково назначение основных и вспомогательных помещений в убежищах?
5. Какие факторы влияют на вместимость людей в убежище?
6. Назовите виды убежищ по месту их размещения.
7. Каково назначение фильтровентиляционного агрегата? Назовите режимы его работы.
8. Какие инженерные системы, оборудуемые в убежищах, вы знаете?
9. Поясните физический смысл коэффициента надежности защиты.
10. Назовите исходные сведения, необходимые для оценки инженерной защиты производственного персонала объекта.
11. Какова последовательность оценки инженерной защиты производственного персонала объекта?
12. На какой показатель убежища влияет климатическая зона расположения объекта?

Литература

1. Гражданская оборона : учебник для вузов / В. Г. Атаманюк [и др.]. – М., 1986.
2. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения : справочник / Г. П. Демиденко [и др.]. – Киев, 1989.

Практическая работа №6

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Теоретический материал

В современных условиях, когда научно-технический прогресс привел к созданию современных средств поражения, роль и значение экономики в особый период возрастают. Чтобы обеспечить нормальное функционирование производства и уменьшить вероятность материальных потерь, следует еще в мирное время разработать и осуществить комплекс различных мероприятий. Эти мероприятия должны быть направлены на повышение устойчивости работы промышленных объектов в особый период.

Под устойчивостью работы промышленного объекта понимают способность его в условиях особого (военного) времени выпускать продукцию в запланированном объеме и номенклатуре, а при получении слабых и средних разрушений восстанавливать производство в минимальные сроки.

По каким же направлениям ведется работа на промышленных объектах в целях повышения их устойчивости в особое время?

Такими направлениями являются:

- обеспечение надежной защиты рабочих и служащих;
- защита основных производственных фондов от поражающих факторов современных средств поражения;
- обеспечение устойчивого снабжения объектов всем необходимым для выпуска продукции;
- подготовка к восстановлению нарушенного производства;
- повышение надежности и оперативности управления производством.

Повышение устойчивости работы объекта достигается заблаговременным проведением комплекса инженерно-технических, технологических и организационных мероприятий. С целью выявления уязвимых мест в работе объекта и выработки наиболее эффективных рекомендаций, направленных на повышение устойчивости работы, проводится исследование. В дальнейшем эти рекомендации включаются в план мероприятий по повышению устойчивости работы объекта. Наиболее трудоемкие работы выполняются заблаговременно. Это строительство защитных сооружений, подземная прокладка коммуникаций и др. Мероприятия, не требующие длительного времени на их реализацию или же выполнение которых в мирное время нецелесообразно, проводятся в угрожающий период. Организатором и руководителем исследования является руководитель предприятия – начальник гражданской обороны объекта.

Оценка устойчивости работы промышленного объекта в особый период может быть выполнена при помощи моделирования уязвимости объекта (характер разрушений, пожаров, поражений рабочих и служащих) при воздействии

поражающих факторов ядерного взрыва на основе использования результатов расчетных данных.

При этом 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, взрывы, заражение сильнодействующими ядовитыми веществами и др. 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 закону рассеяния. Согласно этому закону центры ядерных взрывов отклоняются, рассеиваются от точки прицеливания.

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 больше, другие – меньше 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 целесообразного уровня. Нецелесообразно, например, повышать устойчивость здания к воздействию светового излучения, если здание находится на близком расстоянии от предполагаемого эпицентра взрыва и под действием ударной волны произойдет его сильное разрушение.

Рассмотрим методику оценки устойчивости работы объекта к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного излучения.

6.1. Методика оценки устойчивости работы объекта к воздействию ударной волны

Воздействие ударной волны на человека приводит к травмам и контузиям. В зависимости от величины избыточного давления во фронте ударной волны (ΔP_{ϕ}) травмы и контузии подразделяются на *легкие, средние и тяжелые*. При воздействии ударной волны на здания и сооружения имеют место разрушения, которые подразделяют на *слабые, средние и сильные*.

В качестве количественного показателя устойчивости объекта к воздействию ударной волны принимается значение избыточного давления (ΔP_{ϕ}), при котором здания, сооружения и оборудование объекта сохраняются или получают слабые или средние разрушения. Это значение избыточного давления принято считать пределом устойчивости объекта к воздействию ударной волны ($\Delta P_{\phi \text{ lim}}$).

Оценка устойчивости объекта к воздействию ударной волны сводится к определению $\Delta P_{\phi \text{ lim}}$. Для оценки необходимы следующие исходные данные: местоположение точки прицеливания; удаление объекта от точки прицеливания (R_r); ожидаемая мощность боеприпаса (q); вероятное максимальное отклонение центра взрыва от точки прицеливания ($R_{\text{отк}}$); характеристика объекта и его элементов.

Оценка производится в следующей последовательности:

1. Определяется максимальное значение избыточного давления ударной волны ($\Delta P_{\phi \text{ max}}$), 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

$$R_x = R_r - R_{\text{отк}} . \quad (6.1)$$

По прил. 8 находится избыточное давление для боеприпаса мощностью q на расстоянии R_x до центра взрыва при заданном виде взрыва. Найденное значение будет максимальным ($\Delta P_{\phi \text{ max}}$), поскольку оно соответствует случаю, когда центр взрыва окажется на минимальном удалении от объекта.

2. На объекте выделяются основные элементы, от которых зависят функционирование объекта и выпуск необходимой продукции. Для этого надо 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. 6.1.

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. Например, если здание цеха может получить средние разруше-

ния при избыточных давлениях $0,2 - 0,3 \text{ кгс/см}^2$, то за предел устойчивости берется $\Delta P_{\text{ф lim}}$, равный $0,2 \text{ кгс/см}^2$. При этом избыточном давлении элемент в любом случае получит не более чем средние разрушения. Определение предела устойчивости объекта к воздействию ударной волны производится по минимальному пределу устойчивости входящих в его состав основных цехов, участков производства и систем.

4. Заключение об устойчивости объекта к ударной волне производится путем сравнения найденного предела устойчивости объекта $\Delta P_{\text{ф lim}}$ с ожидаемым максимальным значением избыточного давления. Если окажется, что $\Delta P_{\text{ф lim}} \geq \Delta P_{\text{ф max}}$, то объект устойчив к ударной волне, если же $\Delta P_{\text{ф lim}} \leq \Delta P_{\text{ф max}}$ – неустойчив.

5. На основе анализа результатов оценки устойчивости делаются выводы и предложения по каждому цеху, участку и объекту в целом, разрабатываются предложения по повышению предела устойчивости объекта. Целесообразным пределом повышения устойчивости может считаться значение избыточного давления ($\Delta P_{\text{ф}}$), вызывающее такую степень и характер разрушений на объекте, при которых восстановление его будет реальным. Предел устойчивости объекта необходимо повышать до $\Delta P_{\text{ф max}}$. Однако если придется при этом повышать пределы устойчивости многих элементов, что потребует значительных экономических затрат, то целесообразный предел необходимо уменьшить.

6.2. Методика оценки устойчивости работы объекта к воздействию светового излучения

Поражающее действие светового излучения определяется величиной энергии светового импульса ($U_{\text{св}}$). Световое излучение, воздействуя на организм человека, вызывает ожоги открытых участков тела и поражает органы зрения. В зависимости от величины энергии светового импульса у человека могут возникать ожоги трех степеней тяжести: *первой (легкой)*, *второй (средней)* и *третьей (тяжелой)*. Поражения глаз делятся на три вида: временное ослепление – до 5 мин днем и 30 мин – ночью, ожоги глазного дна, ожоги роговицы и век.

Воздействие светового излучения на здания и сооружения приводит к пожарам. На предприятиях могут образовываться отдельные и сплошные пожары, а также горения и тления в завалах. В качестве показателя устойчивости объекта к воздействию светового излучения принимается минимальное значение светового импульса, при котором может произойти воспламенение материалов или конструкций зданий и сооружений, в результате чего возникнут пожары на объекте. Это значение принято считать пределом устойчивости объекта к воздействию светового излучения $U_{\text{св lim}}$.

Оценка уязвимости объекта при воздействии светового излучения начинается с определения максимального значения светового импульса ($U_{\text{св max}}$) и значения максимального избыточного давления ($\Delta P_{\text{ф max}}$), ожидаемых на объекте. Для оценки необходимы следующие *исходные данные*: характеристика зда-

ний и сооружений; вид производства и используемые в технологическом процессе горючие вещества и материалы; вид готовой продукции; ожидаемая степень разрушения зданий и сооружений от воздействия ударной волны.

Оценка производится в следующей последовательности:

1. Определяется максимальное значение светового импульса ($U_{\text{св max}}$) по прил. 13. Найденное значение необходимо для установления предела повышения противопожарной устойчивости объекта.

2. Определяется степень огнестойкости зданий и сооружений объекта. С этой целью изучается каждое здание и сооружение объекта и определяется, из каких материалов выполнены основные конструкции (части) здания, а также устанавливается предел огнестойкости этих конструкций. Степень огнестойкости определяется по прил. 14. Характеристики здания, результаты оценки заносятся в табл. 6.2.

3. Определяется категория производства по пожарной опасности (прил. 15). Для этого изучаются характер технологического процесса в здании и виды используемых в производстве материалов и веществ, а также вид готовой продукции.

4. Выявляются сгораемые материалы. С этой целью изучаются каждое здание, производственные установки и выявляется наличие в конструкциях элементов, выполненных из сгораемых материалов. Затем по прил. 16 определяется величина светового импульса, при которой воспламеняются сгораемые материалы.

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 $U_{\text{св lim}} \geq U_{\text{св max}}$.

5. На основании анализа результатов оценки делаются выводы и предложения в целом; разрабатываются предложения по повышению предела устойчивости объекта к световому излучению. Повышение устойчивости объекта сводится в конечном итоге к замене легковоспламеняющихся материалов конструкций зданий материалами, воспламеняющимися при более высоком световом импульсе.

6.3. Методика оценки устойчивости работы объекта к воздействию проникающей радиации и радиоактивного заражения

Воздействие проникающей радиации и радиоактивного заражения на производственную деятельность предприятия проявляется главным образом через их действие на людей. Поражение людей проникающей радиацией и радиоактивным заражением зависит от величины дозы облучения. В зависимости от полученной организмом человека дозы облучения различают три степени лучевой болезни: *первая степень (легкая), вторая (средняя) и третья (тяжелая)*. Практически не приводят к существенному снижению трудоспособности следующие дозы облучения: при однократном облучении (в течение 4 сут) –

50 Р; при многократном облучении: за месяц – 100 Р, за три месяца – 200 Р, за год – 300 Р.

При воздействии больших доз проникающей радиации и радиоактивного заражения на промышленные здания и сооружения материал, из которого построено здание, становится источником ионизирующих излучений, т. е. вторичным источником излучения. При малых дозах облучения зданий снижается производительность труда, так как производственный персонал вынужден работать в средствах индивидуальной защиты.

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 радиоактивного заражения $P1_{lim}$.

Оценка устойчивости объекта к воздействию проникающей радиации и радиоактивного заражения начинается с определения максимального уровня радиации, ожидаемого на объекте. Для оценки необходимы следующие данные: максимальная доза проникающей радиации $D_{пр\ max}$ и максимальный уровень радиации на 1 ч после взрыва $P1_{max}$; характеристика производственных участков (конструкция здания, этажность, месторасположение); характеристика убежищ (тип, материал, толщина каждого защитного слоя перекрытия).

Оценка производится в следующей последовательности:

1. Определяется максимальное значение уровня радиации, ожидаемого на объекте, находящемся на заданном расстоянии R_x от точки прицеливания. По прил. 10 при заданной скорости ветра V_v и R_x определяется ожидаемое значение уровня радиации на 1 ч после взрыва $P1_{max}$. По прил. 9 для заданных q и R_x находится доза проникающей радиации $D_{пр\ max}$.

2. Определяется степень защищенности рабочих и служащих зданием и убежищем, в которых будет работать или укрываться производственный персонал. Значения коэффициентов ослабления для основных типов зданий и сооружений приведены в прил. 17 (раздельно от радиоактивного заражения ($K_{осл. зд. рз}$) и проникающей радиации ($K_{осл. зд. пр}$)).

Коэффициент ослабления убежища зависит от его типа (встроенное или отдельно стоящее), толщины материала перекрытия, места расположения и рассчитывается по формуле

$$K_{осл} = K_p \cdot \prod_{i=1}^n 2^{\frac{h_i}{d_i}}, \quad (6.2)$$

где K_p – коэффициент, учитывающий расположение объекта, который определяется по прил. 11;

n – число защитных слоев материалов перекрытия защитного сооружения;

h_i – толщина i -го защитного слоя;

d_i – толщина слоя половинного ослабления, которая определяется по прил. 12.

Данные расчетов заносятся в табл. 6.3.

3. Определяются дозы облучения, которые может получить производственный персонал при воздействии проникающей радиации и радиоактивного заражения. Доза облучения, которую могут получить рабочие и служащие объекта, определяется с учетом ослабления радиации конструкциями здания по формуле

$$D = \frac{D_{\text{откр}}}{K_{\text{осл}}}, \quad (6.3)$$

где $D_{\text{откр}}$ – доза облучения, которую могут получить люди на открытой местности.

Доза проникающей радиации на открытой местности $D_{\text{откр.пр}}$ определяется по прил. 9.

Доза облучения при воздействии радиоактивного заражения на открытой местности определяется по формуле

$$D_{\text{откр.рз}} = 5 \cdot (P_{\text{н}} \cdot t_{\text{н}} - P_{\text{к}} \cdot t_{\text{к}}), \quad (6.4)$$

где $P_{\text{н}}$ и $P_{\text{к}}$ – уровни радиации в начале и в конце пребывания на зараженной местности, Р/ч;

$t_{\text{н}}$ и $t_{\text{к}}$ – время начала и окончания облучения относительно момента взрыва, ч.

Уровень радиации в конце пребывания на зараженной местности определяется из соотношения

$$P_{\text{к}} = \frac{P1_{\text{max}}}{K_2}, \quad (6.5)$$

где K_2 – коэффициент пересчета уровней радиации, определяемый по прил. 6.

Время окончания облучения ($t_{\text{к}}$) равно сумме времени начала и продолжительности работы ($t_{\text{р}}$), т. е.

$$t_{\text{к}} = t_{\text{н}} + t_{\text{р}}.$$

4. Определяется предел устойчивости объекта в условиях радиоактивного заражения ($P1_{\text{lim}}$), т. е. предельное значение уровня радиации, при котором возможна производственная деятельность в обычном режиме и персонал не получит дозу облучения выше установленной:

$$P1_{\text{lim}} = \frac{D_{\text{уст}} \cdot K_{\text{осл}}}{5 \cdot (t_{\text{н}}^{-0,2} - t_{\text{к}}^{-0,2})}, \quad (6.6)$$

где $D_{\text{уст}}$ – допустимая (установленная) доза излучения для работающей смены.

Если $P1_{\text{lim}} < P1_{\text{max}}$, то объект неустойчив к радиоактивному заражению, и наоборот.

5. На основании полученных данных делаются выводы и предложения по повышению устойчивости объекта (герметизация производственных помещений, повышение защитных свойств убежищ и укрытий и др.).

Примеры решения задач

Задача 1. Оценить устойчивость сборочного цеха машиностроительного завода к воздействию ударной волны ядерного взрыва. Завод расположен на

расстоянии 6 км от вероятной точки прицеливания, ожидаемая мощность ядерного боеприпаса $q = 0,5$ Мт; взрыв наземный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 0,5$ км. *Характеристика цеха*: здание одноэтажное, кирпичное; технологическое оборудование включает мостовые краны и крановое оборудование, тяжелые станки; коммунально-энергетическая сеть (КЭС) состоит из системы подачи воздуха для пневмоинструмента (трубопроводы на металлических эстакадах) и кабельной наземной электросети.

Решение

1. Определяем максимальное значение избыточного давления, ожидаемого на территории завода. Для этого находим минимальное расстояние до возможного центра взрыва по формуле (6.1):

$$R_x = R_r - R_{отк} = 6 - 0,5 = 5,5 \text{ км.}$$

Таблица 6.1

Результаты оценки устойчивости цеха к воздействию ударной волны

Элементы цеха и краткая характеристика	Степень разрушения при ΔP_{ϕ} , кгс/см ²									Предел устойчивости, кгс/см ²	
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8		
Здание: одноэтажное, кирпичное; перекрытия из железобетонных плит											0,15
Внутреннее оборудование: мостовые краны, крановое оборудование; тяжелые станки											0,3
											0,4
КЭС: трубопроводы на металлических эстакадах, кабельная наземная электросеть											0,3
											0,3

Примечания. Условные обозначения: – слабые разрушения; – средние разрушения; – сильные разрушения.

2. По прил. 8 находим избыточное давление $\Delta P_{\phi \max}$ на расстоянии 5,5 км для боеприпаса мощностью $q = 0,5$ Мт при наземном взрыве:

$$\Delta P_{\phi \max} = 0,2 \text{ кгс/см}^2.$$

3. Выделяем основные элементы цеха и определяем их характеристики, которые берем из задания и записываем в табл. 6.1.

4. По прил. 18 устанавливаем для каждого элемента цеха значение избыточного давления ΔP_{ϕ} , вызывающее слабые, средние и сильные разрушения. Эти данные отражаем в табл. 6.1 условными знаками.

5. Находим предел устойчивости каждого элемента цеха, т. е. избыточное давление, вызывающее средние разрушения. Так, здание имеет предел устойчивости к ударной волне $0,15 \text{ кгс/см}^2$, тяжелые станки – $0,4 \text{ кгс/см}^2$ и т. д.

6. Определяем предел устойчивости цеха в целом по минимальному пределу устойчивости входящих в его состав элементов. Сопоставляя пределы устойчивости всех элементов цеха, находим предел устойчивости сборочного цеха: $\Delta P_{\text{ф max}} = 0,15 \text{ кгс/см}^2$.

7. Анализируем результаты оценки, делаем выводы и предложения по повышению устойчивости цеха к ударной волне.

Выводы

1. На территории цеха вероятное максимальное избыточное давление может составлять $\Delta P_{\text{ф max}} = 0,2 \text{ кгс/см}^2$, а предел устойчивости цеха к ударной волне – $0,15 \text{ кгс/см}^2$, что меньше $\Delta P_{\text{ф max}}$. Следовательно, цех неустойчив к ударной волне и наиболее слабый элемент – здание цеха.

2. Так как ожидаемое максимальное избыточное давление ударной волны $\Delta P_{\text{ф max}} = 0,2 \text{ кгс/см}^2$, а предел устойчивости большинства элементов цеха $\Delta P_{\text{ф max}}$ более $0,2 \text{ кгс/см}^2$, то целесообразно повысить предел устойчивости цеха $\Delta P_{\text{ф max}}$ до $0,2 \text{ кгс/см}^2$.

3. Для повышения устойчивости цеха к ударной волне необходимо повысить устойчивость здания цеха за счет устройства подкосов, дополнительных рамных конструкций, обваловки здания.

Задача 2. Определить устойчивость механического цеха машиностроительного завода к воздействию светового излучения ядерного взрыва. Завод располагается на расстоянии 6 км от центра города, по которому вероятен ядерный воздушный удар, ожидаемая мощность ядерного боеприпаса $q = 0,5 \text{ Мт}$, вероятное максимальное отклонение эпицентра взрыва от точки прицеливания $R_{\text{отк}} = 0,8 \text{ км}$. *Здание цеха:* одноэтажное, кирпичное, предел огнестойкости стен – 2,5 ч; чердачное перекрытие из железобетонных плит с пределом огнестойкости 1 ч; кровля мягкая (толь по деревянной обрешетке); двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет; в цехе ведутся обточка и фрезеровка деталей машин.

Решение

1. Определяем максимальные значения избыточного давления ударной волны ($\Delta P_{\text{ф max}}$) и светового импульса ($U_{\text{св max}}$). Для этого находим вероятное минимальное расстояние до возможного центра взрыва по формуле

$$R_x = R_r - R_{\text{отк}} = 6 - 0,8 = 5,2 \text{ км}.$$

2. По прил. 8 находим максимальное избыточное давление $\Delta P_{\text{ф max}} = 0,3 \text{ кгс/см}^2$, а по прил. 13 – максимальный световой импульс $U_{\text{св max}} = 30 \text{ кал/см}^2$.

3. Определяем степень огнестойкости здания цеха. Для этого изучаем его характеристику, взятую из условий примера, выбираем данные о материалах, из которых выполнены основные конструкции здания, и определяем предел их огнестойкости. По прил. 14 находим, что по указанным в условиях примера пара-

метрам здание цеха относится ко 2-й степени огнестойкости. Результаты оценки, а также характеристики здания и его элементов заносим в табл.6.2.

4. Определяем категорию пожарной опасности производства. В цехе производство связано с обработкой металлов в холодном состоянии. Горючие материалы не применяются, поэтому в соответствии с прил. 15 механический цех завода относится к категории Д.

5. Выявляем в конструкциях здания элементы, выполненные из сгораемых материалов, и изучаем их характеристики. Такими элементами являются: двери и оконные рамы, выполненные из дерева и окрашенные в темный цвет; кровля толевая по деревянной обрешетке.

По прил. 16 деревянные двери и оконные рамы воспламеняются от светового импульса $U_{св}$, равного $7,0 \text{ кал/см}^2$, а толевая кровля – $16,5 \text{ кал/см}^2$.

Таблица 6.2

Результаты оценки устойчивости цеха к воздействию светового излучения

I	II	III	IV	V	VI	VII
Здание одноэтажное, кирпичное; перекрытия из ж/б плит; предел огнестойкости несущих стен – 2,5 ч, перекрытий – 1 ч	II	Д	Двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет	7,0	7,0	Средние
			Кровля толевая по деревянной обрешетке	16,5		

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/см^2 ; VI – предел устойчивости здания к световому излучению, кал/см^2 ; VII – разрушения зданий при $\Delta P_{ф \text{ max}}$.

6. Определяем предел устойчивости цеха к световому излучению по минимальному световому импульсу. Пределом устойчивости цеха к световому излучению является $U_{св \text{ lim}} = 7,0 \text{ кал/см}^2$. Так как $U_{св \text{ lim}} < U_{св \text{ max}}$, то цех неустойчив к световому излучению.

7. Определяем степень разрушения здания цеха от ударной волны при ожидаемом максимальном избыточном давлении по прил. 8. При $\Delta P_{ф \text{ max}} = 0,25 \text{ кгс/см}^2$ здание цеха (одноэтажное, кирпичное) получит средние разрушения.

Выводы

1. На объекте ожидается максимальный световой импульс 30 кал/см^2 , что вызовет сложную пожарную обстановку. Цех завода окажется в зоне сплошного пожара.

2. Цех завода неустойчив к световому излучению. Предел устойчивости цеха – $7,0 \text{ кал/см}^2$.

3. Пожарную опасность для цеха представляют двери, оконные рамы и переплеты, выполненные из дерева и окрашенные в темный цвет, а также толевая кровля по деревянной обрешетке.

4. Целесообразно повысить предел устойчивости механического цеха, проведя следующие мероприятия: заменить деревянные оконные рамы и переплеты металлическими; обить двери кровельной сталью; заменить кровлю здания цеха асбоцементной; провести в цехе профилактические противопожарные меры (увеличить количество средств пожаротушения, своевременно убрать производственный мусор в здании цеха и на его территории).

Задача 3. Оценить устойчивость работы сборочного цеха машиностроительного завода к воздействию проникающей радиации и радиоактивного заражения наземного ядерного взрыва. Завод расположен на окраине города; удаление объекта от точки прицеливания – 9 км, ожидаемая мощность ядерного боеприпаса $q = 0,5$ Мт; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 1$ км. Скорость ветра $V_v = 50$ км/ч. Направление ветра – в сторону объекта. Здание цеха: одноэтажное, кирпичное, расположено в районе застройки; убежище для укрытия рабочих цеха встроенное (в здании цеха); перекрытие из железобетона толщиной 40 см и грунтовая подушка 25 см; максимальная продолжительность рабочей смены – 12 ч; установленная доза облучения $D_{уст} = 25$ Р.

Решение

1. Определяем максимальное значение уровня радиоактивного заражения и дозы проникающей радиации, ожидаемые на территории завода, для чего:

а) рассчитываем возможное минимальное расстояние от объекта до эпицентра взрыва по формуле (6.1):

$$R_x = R_r - R_{отк} = 9 - 1 = 8 \text{ км};$$

б) по прил. 10 при $q = 0,5$ Мт, $R_x = 8$ км находим ожидаемое значение уровня радиации на объекте на 1 ч после взрыва $P1 = 6900$ Р/ч;

в) по прил. 9 определяем максимальную дозу проникающей радиации $D_{пр}$, ожидаемую на объекте: $D_{пр} = 0$.

Таким образом, на территории цеха максимальный уровень радиации радиоактивного заражения составит 6900 Р/ч. Действия проникающей радиации в районе цеха не ожидается.

2. Определяем коэффициенты ослабления дозы облучения зданием и убежищем, для чего:

а) по прил. 17 находим коэффициенты ослабления для здания цеха от радиоактивного заражения и проникающей радиации по данным характеристикам здания цеха. Для производственного одноэтажного здания $K_{осл. зд. рз} = 7$, а $K_{осл. зд. пр} = 5$;

б) рассчитываем коэффициенты ослабления дозы облучения убежищем отдельно для радиоактивного заражения и проникающей радиации по следующим исходным данным: перекрытие убежища состоит из слоя бетона $h_1 = 40$ см и слоя грунта $h_2 = 25$ см; слои половинного ослабления материалов от радиоактивного заражения находим по прил. 12. Они составляют: для бетона $d_1 = 5,7$ см, для грунта $d_2 = 8,1$ см;

в) по прил. 11 находим коэффициент K_p , учитывающий условия расположения убежища ($K_p = 8$ для убежища в районе застройки).

Рассчитываем коэффициент ослабления дозы облучения убежищем для РЗ по формуле (6.2):

$$K_{\text{осл. уб. рз}} = K_p \cdot \prod_{i=1}^n 2^{\frac{h_i}{d_i}} = 8 \cdot 2^{40/5,7} \cdot 2^{25/8,1} = 8719.$$

Коэффициент ослабления проникающей радиации рассчитываем по тем же данным, что и для РЗ, за исключением слоев половинного ослабления, которые составляют: для бетона $d_1 = 10$ см, для грунта $d_2 = 14,4$ см.

$$K_{\text{осл. уб. пр}} = K_p \cdot \prod_{i=1}^n 2^{\frac{h_i}{d_i}} = 8 \cdot 2^{40/10} \cdot 2^{25/14,4} = 426.$$

Данные расчета заносим в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Результаты оценки устойчивости цеха к воздействию проникающей радиации и радиоактивного заражения

Элемент цеха	Характеристика	K _{осл}		Доза облучения, Р	
		от ПР	от РЗ	от ПР	от РЗ
Здание цеха	Одноэтажное, кирпичное в районе застройки	5	7	—	1 920
Убежище	Встроенное в здание цеха. Перекрытие: бетон толщиной 40 см, грунт слоем 25 см	426	8 719	—	1,5

3. Определяем дозу облучения, которую могут получить рабочие, находясь в здании и убежище, за рабочую смену ($t_p = 12$ ч).

Доза облучения в условиях радиоактивного заражения (РЗ) в здании цеха рассчитывается по формулам (6.3)–(6.5):

$$D_{\text{зд. рз}} = \frac{D_{\text{откр}}}{K_{\text{осл. зд. рз}}} = \frac{5 \cdot (P_n \cdot t_n - P_k \cdot t_k)}{K_{\text{осл. зд. рз}}} = \frac{5 \cdot 6900 \cdot 1 - 5 \cdot 324 \cdot 13}{7} = 1920 \text{ Р},$$

так как $P_k = \frac{P_1}{K} = \frac{6900}{21,71} = 324$ Р/ч (коэффициент К находим по прил. 6), $t_k = t_n + t_p = 1 + 12 = 13$ ч.

Поскольку для убежища коэффициент ослабления радиации от РЗ равен 8719, то доза облучения в убежище составит

$$D_{\text{зд. рз}} = \frac{D_{\text{откр}}}{K_{\text{осл. уб. рз}}} = \frac{5 \cdot (P_n \cdot t_n - P_k \cdot t_k)}{K_{\text{осл. уб. рз}}} = \frac{5 \cdot 6900 \cdot 1 - 5 \cdot 324 \cdot 13}{8719} = 1,5 \text{ Р}.$$

Доза облучения от проникающей радиации на объекте равна 0 (см. прил. 9).

4. Определяем предел устойчивости работы объекта в условиях РЗ по формуле (6.6):

$$P_{\text{lim}} = \frac{D_{\text{уст}} \cdot K_{\text{осл}}}{5 \cdot (t_{\text{н}}^{-0,2} - t_{\text{к}}^{-0,2})} = \frac{25 \cdot 7}{5 \cdot (1^{-0,2} - 13^{-0,2})} = \frac{175}{5 \cdot (1 - 0,6)} = 87 \text{ Р/ч.}$$

Так как $P_{\text{lim}} < PL_{\text{max}}$, то объект неустойчив к радиоактивному заражению.

Выводы

1. На территории объекта максимальный уровень радиации может составлять 6900 Р/ч на 1 ч после взрыва. Действие проникающей радиации маловероятно.

2. Сборочный цех неустойчив к воздействию радиоактивного заражения. Защитные свойства здания цеха не обеспечивают непрерывности работы в течение 12 ч. В условиях максимального уровня радиации рабочие получают дозу 1920 Р, что значительно больше допустимой однократной дозы облучения (50 Р).

3. Убежище цеха обеспечивает надежную защиту, доза облучения в нем составит 1,5 Р.

4. Для повышения устойчивости работы цеха в условиях РЗ необходимо провести следующие *мероприятия*:

а) повысить степень герметизации здания цеха, для чего: обеспечить плотное закрытие окон и дверей; подготовить щиты для закрытия оконных проемов при разрушении остекления; предусмотреть закладку кирпичом одной трети оконных проемов;

б) разработать режимы радиационной защиты людей и оборудования цеха в условиях РЗ местности.

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Оценить устойчивость узла связи к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Узел связи расположен на расстоянии $R_r = 4,8$ км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность боеприпаса $q = 0,3$ Мт; взрыв наземный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{\text{отк}} = 1,2$ км. Здание узла связи – одноэтажное кирпичное; предел огнестойкости несущих стен из негорючих материалов – 2,5 ч, перекрытие – из железобетонных плит с пределом стойкости 1 ч; кровля мягкая (рубероид по деревянной обрешетке); двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет.

Внутреннее оборудование: воздушные линии телефонно-телеграфной связи и кабельные наземные линии связи. *Коммунально-энергетические системы:* кабельная наземная электросеть; водо- и газопроводы заглубленные. На узле связи ведутся проверка и ремонт радиоаппаратуры.

Рабочих и служащих узла связи предполагается укрывать в отдельно стоящем убежище в районе застройки, перекрытие которого – из железобетона толщиной 30 см и грунтовой подушки 20 см, максимальная продолжительность

рабочей смены – 10 ч; допустимая доза облучения – 25 Р; скорость ветра – 50 км/ч, направление – в сторону узла связи.

Задача 2. Оценить устойчивость цеха к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Цех расположен на расстоянии (R_r) – 4,7 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность боеприпаса $q = 0,5$ Мт; взрыв воздушный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 0,5$ км. Здание цеха – с легким металлическим каркасом; предел огнестойкости несущих стен из негорючих материалов – 2 ч, перекрытие сгораемое; кровля – черепица красная; двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет.

Внутреннее оборудование: магнитные пускатели и ленточный конвейер в галерее на железобетонной эстакаде. *Коммунально-энергетические системы:* трансформаторная подстанция закрытого типа и трубопроводы на металлических эстакадах. В цехе ведутся сборка и настройка радиоаппаратуры.

Рабочих и служащих цеха предполагается укрывать во встроенном внутри цеха убежище, перекрытие которого состоит из кирпича толщиной 60 см и грунтовой подушки 30 см; максимальная продолжительность рабочей смены – 12 ч; допустимая доза облучения – 20 Р; скорость ветра – 25 км/ч, направление – в сторону цеха.

Задача 3. Оценить устойчивость цеха к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Цех расположен на расстоянии (R_r) 4,2 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность ядерного боеприпаса $q = 0,2$ Мт; взрыв наземный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 1,2$ км. Здание цеха – из сборного железобетона; предел огнестойкости несущих стен из негорючих материалов – 3 ч; перекрытие – из железобетонных плит с пределом огнестойкости 1 ч; кровля мягкая (толь по деревянной обрешетке); двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет.

Внутреннее оборудование: контрольно-измерительная аппаратура; подъемно-транспортное оборудование. *Коммунально-энергетические системы:* сооружения коммунального хозяйства без ограждающих конструкций и трубопроводы, заглубленные на 20 см. В цехе ведутся сборка электродвигателей и проверка их работоспособности.

Рабочих и служащих предполагается укрывать во встроенном отдельно стоящем убежище, перекрытие которого состоит из кирпичной кладки толщиной 50 см и грунтовой подушки 40 см; максимальная продолжительность рабочей смены – 11 ч; допустимая доза облучения – 30 Р; скорость ветра – 50 км/ч, направление – в сторону цеха.

Задача 4. Оценить устойчивость цеха к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Цех расположен на расстоянии (R_r) 6 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность ядерного боеприпаса $q = 0,5$ Мт; взрыв воздушный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки

прицеливания $R_{отк} = 0,5$ км. Здание цеха – с металлическим каркасом и бетонным заполнением; предел огнестойкости несущих стен – 3 ч; перекрытие – из железобетонных плит с пределом огнестойкости 1 ч; кровля – черепица красная; двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в белый цвет.

Внутреннее оборудование: контрольно-измерительная аппаратура и ленточные конвейеры в галерее на железобетонной эстакаде. *Коммунально-энергетические системы:* трансформаторная подстанция закрытого типа и кабельные наземные линии. В цехе ведутся сборка ЭВМ и их настройка.

Рабочих и служащих предполагается укрывать во встроенном внутри здания убежище, перекрытие которого состоит из слоя бетона толщиной 30 см и грунтовой подушки 40 см; максимальная продолжительность рабочей смены – 9 ч; допустимая доза облучения – 25 Р; скорость ветра – 25 км/ч, направление – в сторону завода.

Задача 5. Оценить устойчивость цеха к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Цех расположен на расстоянии (R_r) 3,8 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность ядерного боеприпаса $q = 0,2$ Мт; взрыв наземный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 0,8$ км. Здание цеха – кирпичное двухэтажное; предел огнестойкости несущих стен – 2,5 ч; чердачные перекрытия – из сгораемых материалов; кровля – черепица красная; двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет.

Внутреннее оборудование: станки тяжелые, краны и крановое оборудование. *Коммунально-энергетические системы:* трубопроводы, заглубленные на 20 см, и трансформаторная подстанция закрытого типа. В цехе ведутся сборка и настройка тяжелых станков.

Рабочих и служащих предполагается укрывать во встроенном внутри здания убежище, перекрытие которого состоит из слоя бетона толщиной 39,9 см и грунтовой подушки 24,3 см; максимальная продолжительность рабочей смены – 10 ч; допустимая доза облучения – 30 Р; скорость ветра – 25 км/ч, направление – в сторону цеха.

Задача 6. Оценить устойчивость цеха к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Цех расположен на расстоянии (R_r) 8,4 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность боеприпаса $q = 1$ Мт; взрыв воздушный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 0,9$ км. Здание цеха одноэтажное, с легким металлическим каркасом и стеновым бетонным заполнением; предел огнестойкости несущих стен из негорючих материалов – 2,5 ч, перекрытия – из трудногорючих материалов с пределом огнестойкости 0,25 ч; кровля мягкая (рубероид по деревянной обрешетке); двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет.

Внутреннее оборудование: трансформаторы от 100 до 1 000 кВ и магнитные пускатели. *Коммунально-энергетические системы:* кабельные наземные

линии и контрольно-измерительная аппаратура. В цехе ведется сборка электродвигателей.

Рабочих и служащих цеха предполагается укрывать в отдельно стоящем в районе застройки убежище, перекрытие которого состоит из кирпича толщиной 40,5 см и грунтовой подушки 56,7 см, максимальная продолжительность рабочей смены – 12 ч; допустимая доза облучения – 35 Р; скорость ветра – 50 км/ч, направление – в сторону цеха.

Задача 7. Оценить устойчивость цеха к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Цех расположен на расстоянии (R_r) 5 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность боеприпаса $q = 0,5$ Мт; взрыв наземный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 0,6$ км. Здание цеха одноэтажное кирпичное; предел огнестойкости несущих стен из трудносгораемых материалов – 0,5 ч; чердачные перекрытия – из сгораемых материалов; кровля – черепица красная; двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет.

Внутреннее оборудование: электродвигатели мощностью от 2 до 10 кВт и подъемно-транспортное оборудование. *Коммунально-энергетические системы:* кабельные наземные линии и сети коммунального хозяйства (водопровод, газопровод) заглубленные. В цехе ведется сборка электродвигателей мощностью до 10 кВт.

Рабочих и служащих цеха предполагается укрывать во встроенном внутри производственного комплекса убежище, перекрытие которого состоит из кирпичной кладки толщиной 26,1 см и грунтовой подушки 48,6 см, максимальная продолжительность рабочей смены – 11 ч; допустимая доза облучения – 30 Р; скорость ветра – 25 км/ч, направление – в сторону цеха.

Задача 8. Оценить устойчивость цеха к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Цех расположен на расстоянии (R_r) 5 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность боеприпаса $q = 0,3$ Мт; взрыв воздушный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 1$ км. Здание цеха – с легким металлическим каркасом; предел огнестойкости несущих стен из негораемых материалов – 3 ч; предел огнестойкости перекрытия из негораемых материалов – 1 ч; кровля мягкая (только по деревянной обрешетке); двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет.

Внутреннее оборудование: станки средние и ленточный конвейер в галерее на железобетонной эстакаде. *Коммунально-энергетические системы:* трубопроводы на железобетонных эстакадах и сооружения коммунального хозяйства без ограничивающих конструкций. В цехе ведутся сборка и настройка средних станков.

Рабочих и служащих цеха предполагается укрывать во встроенном убежище в отдельно стоящем здании; перекрытие убежища состоит из кладки бутовой толщиной 27 см и грунтовой подушки 32,4 см, максимальная продолжи-

тельность рабочей смены – 10 ч; допустимая доза облучения – 35 Р; скорость ветра – 50 км/ч, направление – в сторону цеха.

Задача 9. Оценить устойчивость узла связи к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Узел связи расположен на расстоянии (R_r) 4,2 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность боеприпаса $q = 0,3$ Мт; взрыв наземный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 0,6$ км. Здание узла связи – с легким металлическим каркасом; предел огнестойкости несущих стен – 2,5 ч, перекрытие – из несгораемых материалов с пределом стойкости – 0,25 ч; кровля мягкая (рубероид по деревянной обрешетке); двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет.

Внутреннее оборудование: магнитные пускатели и контрольно-измерительная аппаратура. *Средства связи:* радиостанции и воздушные линии телефонно-телеграфной связи.

Обслуживающий персонал предполагается укрывать в отдельно стоящем убежище вне района застройки; перекрытие убежища состоит из утрамбованной глины толщиной 25,2 см и грунтовой подушки 40,5 см, максимальная продолжительность рабочей смены – 12 ч; допустимая доза облучения – 40 Р; скорость ветра – 50 км/ч, направление – в сторону узла связи.

Задача 10. Оценить устойчивость цеха к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Цех расположен на расстоянии (R_r) 5 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность боеприпаса $q = 0,5$ Мт; взрыв воздушный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 0,8$ км. Здание цеха – из сборного железобетона; предел огнестойкости несущих стен из трудносгораемых материалов – 2,5 ч; перекрытия из трудносгораемых материалов – 0,25 ч; кровля – черепица красная; двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет.

Внутреннее оборудование: ленточный конвейер в галерее на железобетонной эстакаде. *Средства связи:* радиостанции и радиорелейные линии. В цехе проводятся сборка и настройка средств радиосвязи.

Рабочих и служащих цеха предполагается укрывать в отдельно стоящем убежище в районе застройки, перекрытие которого состоит из кирпича толщиной 40,5 см и грунтовой подушки 40,5 см, максимальная продолжительность рабочей смены – 11 ч; допустимая доза облучения – 30 Р; скорость ветра – 25 км/ч, направление – в сторону цеха.

Задача 11. Оценить устойчивость цеха к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Цех расположен на расстоянии (R_r) 3,6 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность боеприпаса $q = 0,2$ Мт; взрыв воздушный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 0,7$ км. Здание цеха – из сборного железобетона; предел огнестойкости несущих стен из несгораемых материалов – 0,5 ч; перекрытия – из сгораемых мате-

риалов; кровля мягкая (рубероид по деревянной обрешетке); двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет. В цехе ведется сборка ЭВМ.

Внутреннее оборудование: контрольно-измерительная аппаратура и подъемно-транспортное оборудование. *Коммунально-энергетические системы:* кабельные наземные линии и сети коммунального хозяйства (водопровод, канализация, газопровод) заглубленные.

Рабочих и служащих цеха предполагается укрывать в отдельно стоящем убежище в районе застройки, перекрытие которого состоит из бутовой кладки толщиной 27 см и грунтовой подушки 32,4 см, максимальная продолжительность рабочей смены – 11 ч; допустимая доза облучения – 30 Р; скорость ветра – 50 км/ч, направление – в сторону цеха.

Задача 12. Оценить устойчивость цеха к воздействию ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения ядерного взрыва. Цех расположен на расстоянии (R_r) 3,8 км от вероятной точки прицеливания; ожидаемая мощность боеприпаса $q = 0,1$ Мт; взрыв воздушный; вероятное максимальное отклонение ядерного боеприпаса от точки прицеливания $R_{отк} = 0,6$ км. Здание цеха – одноэтажное, с металлическим каркасом и стеновым заполнением из листового металла; предел огнестойкости несущих стен из несгораемых материалов – 0,5 ч; перекрытия – из сгораемых материалов; кровля – черепица красная; двери и оконные рамы деревянные, окрашенные в темный цвет.

Внутреннее оборудование: магнитные пускатели и трансформаторы от 100 до 1000 кВ. *Коммунально-энергетические системы:* трубопроводы на металлических эстакадах и сооружения коммунального хозяйства без ограждающих конструкций. В цехе ведется сборка электродвигателей.

Рабочих и служащих цеха предполагается укрывать во встроенном убежище внутри производственного комплекса; перекрытие убежища состоит из бетона толщиной 22,8 см и грунтовой подушки 24,3 см; максимальная продолжительность рабочей смены – 13 ч; допустимая доза облучения – 40 Р; скорость ветра – 25 км/ч, направление – в сторону цеха.

Контрольные вопросы

1. Что вы знаете об устойчивости работы промышленного объекта?
2. Какие факторы влияют на повышение устойчивости работы промышленного объекта в особый период?
3. Дайте определение очага ядерного поражения и перечислите его поражающие факторы.
4. Каково воздействие ударной волны на организм человека?
5. Каково воздействие ударной волны на промышленные здания и сооружения?
6. Каково воздействие светового излучения на организм человека?
7. Какие способы защиты человека от ударной волны и светового излучения вы знаете?

8. Как воздействует проникающая радиация и радиоактивное заражение на организм человека?

9. Какие способы защиты человека от проникающей радиации и радиоактивного заражения вы знаете?

10. Как воздействует проникающая радиация и радиоактивное заражение в больших дозах на промышленные здания и сооружения?

11. Как воздействует проникающая радиация и радиоактивное заражение в малых дозах на промышленные здания и сооружения?

Литература

1. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения : справочник / Г. П. Демиденко [и др.]. – Киев, 1989.

2. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие / И. С. Асаенок [и др.]. – Минск, 2000.

Библиотека БГУИР

Практическая работа №7

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Теоретический материал

В настоящее время на хозяйственных объектах народного хозяйства используется большое количество сильнодействующих ядовитых веществ. При их использовании иногда возникают аварии. Причинами аварии являются: нарушение правил хранения, перевозки, техники безопасности при работе, стихийные бедствия. Сильнодействующие ядовитые вещества (СДЯВ) – это токсические химические соединения, способные при аварии на объектах легко переходить в атмосферу и вызывать массовые поражения людей. Основными параметрами, характеризующими СДЯВ, являются степени токсичности и стойкости.

Степень токсичности СДЯВ характеризует их воздействие на организм человека. Для характеристики токсичности СДЯВ используются: пороговая концентрация, предел переносимости, смертельная концентрация и смертельная доза.

Пороговая концентрация – это наименьшее количество вещества, которое может вызвать ощутимый физиологический эффект. При этом пострадавшие сохраняют работоспособность и ощущают лишь первичные признаки поражения.

Предел переносимости – это максимальная концентрация, которую человек может выдерживать определенное время без устойчивого поражения. В промышленности в качестве предела переносимости используется предельно допустимая концентрация.

Однако пороговая и предельно допустимая концентрации не могут служить полной характеристикой токсичности СДЯВ, так как не позволяют оценить возможный физиологический эффект в зависимости от времени их воздействия. Кроме того, токсичность СДЯВ в значительной степени зависит от пути попадания в организм человека. Основными путями попадания СДЯВ в организм человека являются органы дыхания и кожные покровы.

Для характеристики токсичных веществ при воздействии на организм человека через органы дыхания применяются следующие токсические дозы:

- средняя смертельная токсодоза, вызывающая смертельный исход у 75 % пораженных;
- средняя выводящая из строя токсодоза, вызывающая выход из строя 50 % пораженных;
- средняя пороговая токсодоза, вызывающая начальные симптомы поражения у 50 % пораженных.

Ингаляционные токсодозы измеряются в г/мин на 1 м³ или в мг/мин на 1 л.

Степень токсичности СДЯВ при воздействии на организм человека через кожный покров оценивается также средней смертельной, средней выводящей и

пороговой дозами. Они измеряются количеством вещества, приходящегося на единицу поверхности тела человека или на единицу его массы ($\text{мг}/\text{см}^2$ или $\text{мг}/\text{кг}$).

По степени токсичности СДЯВ делят на шесть групп: чрезвычайно токсичные, высокотоксичные, сильно токсичные, умеренно токсичные, токсичные и нетоксичные.

По степени стойкости СДЯВ подразделяются на стойкие и нестойкие. Стойкость – это способность вещества сохранять свои поражающие действия в воздухе или на местности в течение определенного времени. Стойкость СДЯВ зависит в основном от их физико-химических свойств, рельефа местности, метеорологических условий, состояния атмосферы в приземном слое.

У поверхности Земли различают три состояния атмосферы: инверсию, конвекцию и изотермию.

Инверсия – устойчивое состояние, восходящие потоки отсутствуют; температура поверхности почвы ниже температуры воздуха.

Конвекция – неустойчивое состояние, сильно развиты восходящие потоки; температура почвы выше температуры воздуха. Она вызывает сильное рассеивание зараженного воздуха. В результате этого концентрация паров в воздухе сильно снижается.

Изотермия – промежуточное состояние: температура почвы и воздуха примерно равны.

Инверсия и изотермия способствуют сохранению высоких концентраций СДЯВ в приземном слое воздуха, распространению зараженного воздуха на большие расстояния.

Химическая обстановка может возникнуть в результате аварии на химически опасном объекте и при применении химического оружия.

Под химической обстановкой понимают масштабы и степень химического заражения воздуха (местности), оказывающие влияние на жизнедеятельность человека и работу хозяйственных объектов.

Разрушенные или поврежденные емкости (коммуникации) с СДЯВ служат источниками образования зон химического заражения и очагов химического поражения.

Зона химического заражения включает место непосредственного разлива ядовитых веществ и территорию, над которой распространялись пары этих веществ в поражающих концентрациях. Такая зона характеризуется глубиной распространения облака, зараженного ядовитыми веществами воздуха с поражающими концентрациями, (Γ), шириной (Π) и площадью S_3 . Кроме того, в зоне химического заражения может быть один или несколько очагов химического поражения, которые характеризуются своими площадями. Под очагом химического поражения понимают населенный пункт, попавший в зону химического заражения, где имеет место гибель людей, сельскохозяйственных животных и растений.

Выявлением и оценкой химической обстановки занимаются штабы гражданской обороны и командиры невоенизированных формирований. Оценке хи-

мической обстановки предшествует ее выявление. Выявить химическую обстановку – это значит определить зоны химического заражения и нанести их на карту (схему или план).

Оценка химической обстановки осуществляется методом прогнозирования и по данным химической разведки. Первый метод, как правило, используют штабы гражданской обороны, а второй – командиры невоенизированных формирований гражданской обороны.

На всех химически опасных объектах оценка химической обстановки производится методом прогнозирования. При этом в основу положены данные по одновременному выбросу в атмосферу всего запаса СДЯВ, имеющихся на объекте, при благоприятных условиях для распространения зараженного воздуха. Такими условиями являются инверсия и скорость ветра, равная 1 м/с.

При аварии на химически опасном объекте оценка производится по конкретно сложившейся обстановке, т. е. берется реальное количество выброшенного (вылившегося) ядовитого вещества и реальные метеоусловия.

Для оценки химической обстановки необходимы следующие исходные данные:

- а) тип и количество СДЯВ в емкости, где произошла авария;
- б) условия хранения;
- в) характер выброса (вылива) ядовитых веществ;
- г) топографические условия местности;
- д) метеоусловия;
- е) степень защищенности рабочих, служащих объекта и населения.

Исходные данные добываются постами радиационного и химического наблюдения; звеньями (группами) радиационной и химической разведки; из информации, поступающей от вышестоящих штабов гражданской обороны и соседей.

Оценка химической обстановки включает решение задач по определению:

- 1) размеров и площади зоны химического заражения;
- 2) времени подхода зараженного воздуха к определенному рубежу (объекту);
- 3) времени поражающего действия СДЯВ;
- 4) границ возможных очагов химического поражения;
- 5) возможных потерь в очаге химического поражения.

Методика оценки химической обстановки

7.1. Определение размеров и площади зоны химического заражения

По табл. 7.1 и 7.2 определяются ориентировочные расстояния, на которых могут создаваться в воздухе поражающие концентрации некоторых видов СДЯВ для определенных условий.

Таблица 7.1

Данные для определения глубины распространения облаков зараженного воздуха с поражающими концентрациями СДЯВ на открытой местности, км (емкости не обвалованы, скорость ветра 1 м/с)

Наименование СДЯВ	Количество СДЯВ в емкостях, т					
	5	10	20	50	75	100
При инверсии						
Хлор, фосген	23	49	80	Более 80		
Аммиак	3,5	4,5	6,5	9,5	12	15
При изотермии						
Хлор, фосген	4,6	7	11,5	16	19	21
Аммиак	0,7	0,9	1,3	1,9	2,4	3
При конвекции						
Хлор, фосген	1	1,4	1,96	2,4	2,85	3,15
Аммиак	0,21	0,27	0,39	0,5	0,62	0,66

Примечания:

1. При скорости ветра более 1 м/с применяются поправочные коэффициенты, определяемые по табл. 7.3.
2. Для обвалованных емкостей со СДЯВ глубина распространения облака зараженного воздуха уменьшается в 1,5 раза.

Таблица 7.2

Данные для определения глубины распространения облаков зараженного воздуха с поражающими концентрациями СДЯВ на закрытой местности, км (емкости не обвалованы, скорость ветра 1 м/с)

Наименование СДЯВ	Количество СДЯВ в емкостях, т					
	5	10	20	50	75	100
При инверсии						
Хлор, фосген	6,57	14	22,85	41,14	48,85	54
Аммиак	1	1,28	1,85	2,71	3,42	4,28
При изотермии						
Хлор, фосген	1,31	2	13,28	14,57	5,43	6
Аммиак	0,2	0,26	0,37	0,54	0,68	0,86
При конвекции						
Хлор, фосген	0,4	0,52	0,72	1	1,2	1,32
Аммиак	0,06	0,08	0,11	0,16	0,2	0,26

Примечания:

1. При скорости ветра более 1 м/с применяются поправочные коэффициенты, определяемые по табл. 7.3.
2. Для обвалованных емкостей со СДЯВ глубина распространения зараженного воздуха уменьшается в 1,5 раза.

Таблица 7.3

Данные для определения поправочного коэффициента на скорость ветра

Состояние атмосферы	Скорость ветра, м/с									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Инверсия	1	0,6	0,45	0,38	–	–	–	–	–	–
Изотермия	1	0,71	0,55	0,5	0,45	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32
Конвекция	1	0,7	0,62	0,55	–	–	–	–	–	–

Ширина зоны химического заражения (Ш) определяется по следующим соотношениям:

$$\text{Ш} = 0,03 \cdot \Gamma - \text{при инверсии};$$

$$\text{Ш} = 0,15 \cdot \Gamma - \text{при изотермии};$$

$$\text{Ш} = 0,8 \cdot \Gamma - \text{при конвекции},$$

где Γ – глубина распространения облака зараженного воздуха с поражающей концентрацией, км.

Площадь зоны химического заражения (S_3) принимается как площадь равнобедренного треугольника, которая равна половине произведения глубины распространения зараженного воздуха на ширину зоны заражения:

$$S_3 = 0,5 \cdot \Gamma \cdot \text{Ш}.$$

7.2. Определение времени подхода зараженного воздуха к определенному рубежу (объекту)

Время подхода облака зараженного воздуха (t) к определенному рубежу (объекту) определяется делением расстояния (R) от места разлива СДЯВ до данного рубежа (объекта) на среднюю скорость переноса облака (W) воздушным потоком. Средняя скорость переноса облака зараженного воздуха определяется по табл. 7.4. Облако зараженного воздуха распространяется на высоты, где скорость ветра больше, чем у поверхности Земли. Вследствие этого средняя скорость распространения будет больше, чем скорость ветра на высоте 1 м.

Таблица 7.4

Данные для определения средней скорости переноса облака зараженного воздуха, м/с

Скорость ветра, м/с	Инверсия		Изотермия		Конвекция	
	R<10 км	R>10 км	R<10 км	R>10 км	R<10 км	R>10 км
1	2	2,2	1,5	2	1,5	1,8
2	4	4,5	3	4	3	3,5
3	6	7	4,5	6	4,5	5
4	–	–	6	8	–	–
5	–	–	7,5	10	–	–
6	–	–	9	12	–	–
7	–	–	10,5	14	–	–

Примечание. Инверсия и конвекция при скорости ветра более 3 м/с наблюдаются в редких случаях.

7.3. Определение времени поражающего действия СДЯВ

Время поражающего действия СДЯВ ($t_{\text{пор}}$) определяется временем испарения ядовитого вещества с поверхности его выброса (разлива). Значение времени поражающего действия определяется по табл. 7.5. Зная глубину зоны химического заражения (Γ) и время испарения СДЯВ, строим график (рис. 7.1). По оси ординат откладывается время поражающего действия ($t_{\text{пор}}$), а по оси абсцисс – глубина зоны химического заражения (Γ). Полученные точки А и Б соединяются прямой линией. Для нахождения продолжительности поражающего действия на требуемом расстоянии от района аварии восстанавливается перпендикуляр до пересечения с прямой линией АБ. Из точки пересечения В проводится прямая линия, параллельная оси абсцисс, до пересечения с осью ординат. Точка пересечения с осью ординат и дает искомое время поражающего действия СДЯВ.

Таблица 7.5

Данные для определения времени испарения СДЯВ из поддона при скорости ветра 1 м/с, сут (если не указано иначе)

Емкость хранения, Т	Температура воздуха, °С								
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
Хлор									
1	12,1 ч	10,3 ч	8,6 ч	6,9 ч	6 ч	5,1 ч	4,6 ч	3,8 ч	3,3 ч
10	13,9 ч	11,9 ч	9,9 ч	7,9 ч	6,9 ч	5,9 ч	5,4 ч	4,4 ч	3,8 ч
100	8,6	7,3	6,3	5,3	4,7	4,1	3,4	3,1	2,6
500	12,3	10,5	8,9	7,7	6,8	5,8	5,1	4,5	3,7
Аммиак									
50	1,3	1,1	21,7 ч	18,3 ч	16 ч	13,4 ч	11,3 ч	10 ч	8,6 ч
100	18,3	15,4	12,6	11,4	9,3	7,6	6,3	5,5	4,7
500	27,0	23,2	18,6	15,9	13,1	11,3	9,4	8,3	7,0
Окись этилена									
10	1,8	1,5	1,0	19,8 ч	15,4 ч	13,2 ч	11 ч	9 ч	7,2 ч
50	1,9	1,6	1,1	21,6 ч	16,8 ч	14,4 ч	12 ч	9,6 ч	7,7 ч
100	25	20	15,1	12,2	9,4	7,6	6,0	4,9	4,1

7.4. Определение границ возможных очагов химического поражения

Для определения границ очага поражения необходимо на карту (схему или план) нанести зону химического заражения. Затем выделить населенные пункты или части их, которые попадают в зону химического заражения. Расчетными границами очагов химического поражения и будут границы этих населенных пунктов или районов.

7.5. Определение возможных потерь населения в очаге химического поражения

Потери населения будут зависеть от численности людей, оказавшихся на

площади очага, степени защищенности их и своевременного использования средств индивидуальной защиты. При этом количество рабочих и служащих подсчитывается по их наличию на территории объекта (по зданиям цехов, площадок), а количество населения – по жилым кварталам. Возможные потери населения в очаге химического поражения определяются по табл. 7.6.

Таблица 7.6

Данные для определения возможных потерь рабочих, служащих и населения от СДЯВ в очаге поражения, %

Условия нахождения людей	Без противогазов	Обеспеченность противогазами, %								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
На открытой местности	90–100	75	65	58	50	40	35	25	18	10
В простейших укрытиях, зданиях	50	40	35	30	27	22	18	14	9	4

Примечание. Ориентировочная структура потерь людей в очаге поражения составит, %: легкой степени – 25, средней и тяжелой степени (с выходом из строя не менее чем на 2–3 недели и нуждающихся в госпитализации) – 40, со смертельным исходом – 35.

Примеры решения задач

Задача 1. На объекте разрушилась необвалованная емкость, содержащая 10 т аммиака. Определить размеры и площадь зоны химического заражения в ночное время. Местность открытая. Метеоусловия – ясно, скорость ветра 3 м/с.

Решение

1. По табл. 7.7 определяем степень вертикальной устойчивости воздуха. Находим, что при указанных метеоусловиях степень вертикальной устойчивости воздуха – инверсия.

Таблица 7.7

Оценка степени вертикальной устойчивости воздуха по данным прогноза погоды

Скорость ветра, м/с	Ночь			День		
	ясно	полужасно	пасмурно	ясно	полужасно	пасмурно
0,5	инверсия	инверсия	изотермия	конвекция	конвекция	изотермия
0,6–2,0						
2,1–4,0		изотермия			изотермия	
Более 4,0	изотермия			изотермия		

2. По табл. 7.1 для 10 т аммиака находим глубину распространения зараженного воздуха при скорости ветра 1 м/с; она равна 4,5 км для поражающей концентрации. По табл. 7.3 для скорости ветра 3 м/с определяем поправочный коэффициент, равный для инверсии 0,45. Глубина распространения облака зара-

женного воздуха с поражающей концентрацией составит $\Gamma = 4,5 \cdot 0,45 = 2,02$ км.

3. Определяем ширину зоны химического заражения при инверсии. Ширина зоны

$$\text{Ш} = 0,03\Gamma = 0,03 \cdot 2,02 = 0,06 \text{ км.}$$

4. Определяем площадь зоны химического заражения:

$$S_3 = 0,5\Gamma\text{Ш} = 0,5 \cdot 2,02 \cdot 0,06 = 0,06 \text{ км}^2.$$

Задача 2. В результате аварии на объекте, расположенном на расстоянии 9 км от населенного пункта, разрушены коммуникации со сжиженным аммиаком. Метеоусловия: изотермия, скорость ветра 5 м/с. Определить время подхода облака зараженного воздуха к населенному пункту.

Решение

По табл. 7.4 для изотермии и скорости ветра $V_v = 5$ м/с находим среднюю скорость переноса облака зараженного воздуха $W = 7,5$ м/с.

Время подхода облака зараженного воздуха к населенному пункту определяется из выражения

$$t = R/W = 9000/(7,5 \cdot 60) = 20 \text{ мин.}$$

Задача 3. На объекте разрушилась обвалованная емкость, содержащая 100 т хлора. Определить продолжительность поражающего действия СДЯВ на удалении 6 км. Метеоусловия: инверсия, скорость ветра 4 м/с, температура воздуха 0 °С. Местность открытая.

Решение

1. По табл. 7.1 определяем глубину зоны химического заражения. Для 100 т хлора $\Gamma = 80$ км. По табл. 7.3 находим поправочный коэффициент 0,38. Тогда глубина зоны

$$\Gamma = 80 \cdot 0,38 = 30 \text{ км.}$$

Так как емкость обвалованная, то глубина распространения облака (см. примечания к табл. 7.1) уменьшается в 1,5 раза. Следовательно, глубина зоны заражения составит

$$\Gamma = 30/1,5 = 20 \text{ км.}$$

2. По табл. 7.5 (для емкости 100 т с хлором при температуре 0 °С) находим продолжительность поражающего действия хлора в районе аварии 4,7 сут.

3. Строим график (см. рис. 7.1) и по оси абсцисс откладываем расстояние $\Gamma = 20$ км, а по оси ординат – значение $t_{\text{пор}} = 4,7$ сут. Соединяем точки А и Б прямой. Восстанавливаем перпендикуляр с $D = 6$ км до пересечения с прямой АБ и проводим прямую из точки В до оси ординат. Находим, что продолжительность поражающего действия хлора на расстоянии 6 км от точки аварии составит 3,5 сут.

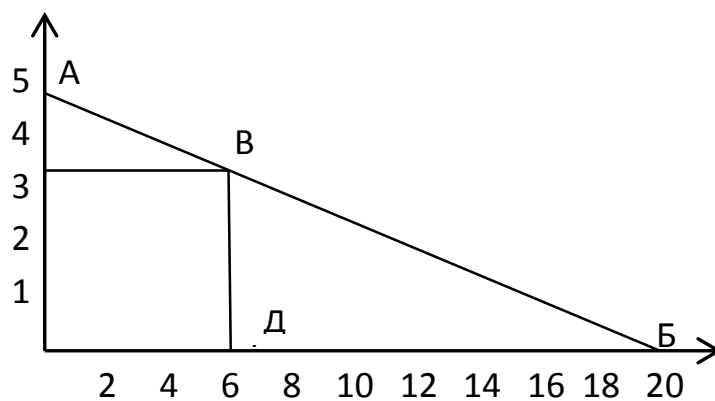


Рис. 7.1. График определения времени поражающего действия СДЯВ

Задача 4. На химическом заводе в результате аварии разрушена емкость, содержащая 15 т хлора. Рабочие и служащие завода (500 чел.) обеспечены противогазами на 100 %. Определить возможные потери рабочих и служащих завода и их структуру.

Решение

1. По табл. 7.6 определяем потери рабочих и служащих при условии, что они обеспечены противогазами на 100 %:

$$500 \cdot 0,04 = 20 \text{ чел.}$$

2. Определяем структуру потерь (руководствуясь прим. к табл. 7.6) со смертельным исходом – $20 \cdot 0,35 = 7$ чел.; средней и тяжелой степени – $20 \cdot 0,4 = 8$ чел.; легкой степени – $20 \cdot 0,25 = 5$ чел.

Всего со смертельным исходом и потерявших работоспособность будет 15 чел.

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. На холодильном комбинате №1 г. Минска (пересечение ул. Первомайской и Захарова) разрушены три обвалованные емкости с аммиаком по 6 т каждая. Местность открытая; ветер юго-западный; скорость ветра 1 м/с. Расстояние от комбината до БГУИР 1,56 км.

Определить:

- а) размеры и площадь зоны химического заражения;
- б) время подхода зараженного воздуха в район БГУИР;
- в) время поражающего действия аммиака в районе БГУИР;
- г) возможные потери рабочих и служащих комбината и сотрудников университета, а также структуру потерь (табл. 7.8).

Таблица 7.8

Исходные данные для решения задачи 1

Исходные данные	Номер варианта			
	1	2	3	4
Время суток	Ночь, ясно	Ночь, полуюсно	Ночь, ясно	Ночь, полуюсно
Температура воздуха, °С	0	-20	+10	+20
Обеспеченность СИЗ, %:	100	90	80	70
а) рабочие и служащие комбината				
б) сотрудники университета	Без средств индивидуальной защиты			
Количество рабочих и служащих комбината	120	100	110	130
Количество сотрудников университета	600	500	550	650

Задача 2. На маргариновом заводе г. Минска (ул. Козлова) разрушена необвалованная емкость, содержащая 2,5 т аммиака. Местность открытая; ветер юго-западный со скоростью 1 м/с. Расстояние от завода до БГУИР 0,9 км.

Определить:

- размеры и площадь зоны химического заражения;
- время подхода зараженного воздуха в район БГУИР;
- время поражающего действия аммиака в районе БГУИР;
- возможные потери рабочих и служащих комбината и сотрудников университета, а также структуру потерь (табл. 7.9).

Таблица 7.9

Исходные данные для решения задачи 2

Исходные данные	Номер варианта			
	1	2	3	4
Время суток	Ночь, полуюсно	Ночь, ясно	Ночь, полуюсно	Ночь, ясно
Температура воздуха, °С	0	-10	-20	+20
Обеспеченность СИЗ, %:				
а) рабочие и служащие комбината	60	80	70	90
б) сотрудники университета	Без средств индивидуальной защиты			
Количество рабочих и служащих комбината	100	90	110	95
Количество сотрудников университета	400	450	350	375

Задача 3. На предприятии БЕЛВАР (проспект Независимости) разрушена обвалованная емкость, содержащая 10 т аммиака. Местность открытая; ветер юго-западный со скоростью 1 м/с. Расстояние от завода до БГУИР 0,3 км.

Определить:

- а) размеры и площадь зоны химического заражения;
- б) время подхода зараженного воздуха в район БГУИР;
- в) время поражающего действия аммиака в районе БГУИР;
- г) возможные потери служащих комбината и сотрудников университета, а также структуру потерь (табл. 7.10).

Исходные данные для решения задачи 3

Исходные данные	Номер варианта			
	1	2	3	4
Время суток	Ночь, ясно	Ночь, пасмурно	Ночь, ясно	День, пасмурно
Температура воздуха, °С	0	-10	+10	+20
Обеспеченность СИЗ, %:				
а) служащие комбината	100	90	80	70
б) сотрудники университета	Без средств индивидуальной защиты			
Количество рабочих и служащих комбината	100	150	172	200
Количество сотрудников университета	600	550	500	650

Контрольные вопросы

1. Что такое токсичность ядовитого вещества?
2. Назовите пути проникновения ядовитых веществ в организм человека и единицы измерения токсической дозы при разных путях проникновения.
3. Что такое стойкость СДЯВ и на какие группы подразделяются ядовитые вещества по степени стойкости?
4. От чего зависит степень стойкости ядовитых веществ?
5. Поясните, в чем сущность инверсии, конвекции и изотермии.
6. Назовите способы оценки химической обстановки.
7. Поясните, в чем смысл выявления и оценки химической обстановки.
8. Назовите источники добывания сведений, необходимых для оценки химической обстановки.
9. Назовите параметры зоны химического заражения.
10. Назовите перечень исходных данных, необходимых для оценки химической обстановки.

Литература

1. Гражданская оборона : учебник для втузов / В. Г. Атаманюк [и др.]. – М., 1983.
2. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения : справочник / Г. П. Демиденко [и др.]. – Киев, 1989.

ПРИЛОЖЕНИЯ

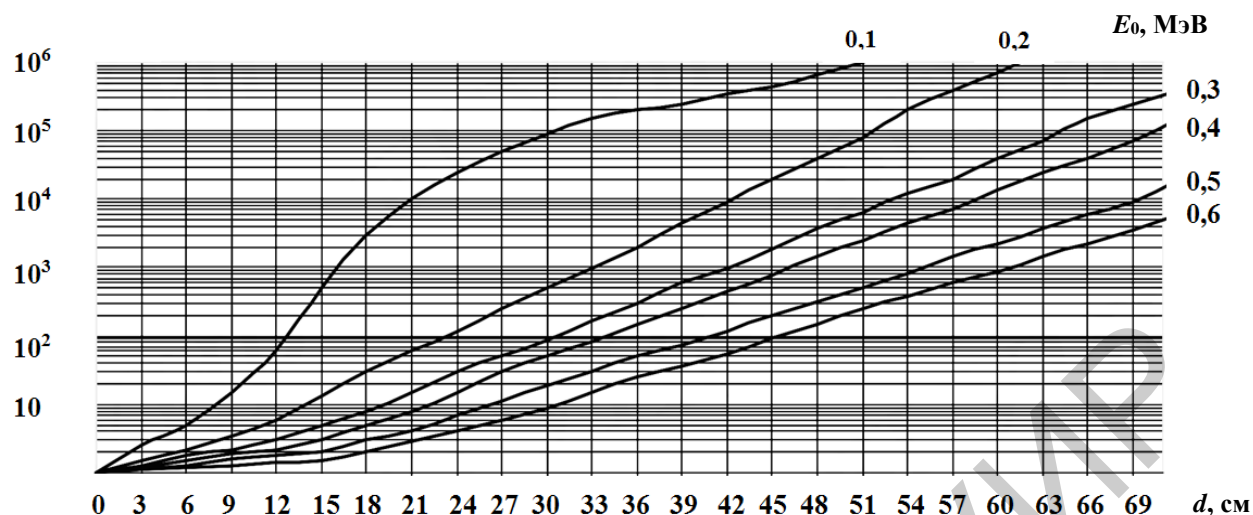
1. Характеристики радиоактивных веществ

№ п/п	Элемент	Изо-топ	Керма-постоянная	Гамма-постоянная	Дозовый коэффициент облучения	Период полураспада
			$\frac{\Gamma_{\delta}, \text{Гр} \cdot \text{м}^2}{\text{Бк} \cdot \text{с}} \cdot 10^{-18}$	$\frac{K_{\gamma}, \text{Р} \cdot \text{см}^2}{\text{мКи} \cdot \text{ч}}$	$\frac{B_{sy}, \text{Зв} \cdot \text{м}^2}{\text{Бк} \cdot \text{с}}$	$T_{1/2}$
1	Натрий	²² Na	78,02	11,9	–	2,6 года
2		²⁴ Na	119,4	18,55	–	15 ч
3	Калий	⁴⁰ K	5,1	0,19	–	1,28·10 ⁶ лет
4	Аргон	⁴¹ Ar	43,09	6,6	–	109,61 мин
5	Марганец	⁵² Mn	118,3	18,03	–	271 сут
6		⁵⁶ Mn	55,8	2,28	–	2,6 ч
7	Кобальт	⁶⁰ Co	84,6	12,93	1,15·10 ⁻¹⁵	5,26 года
8	Медь	⁶⁴ Cu	7,42	1,12	–	12,8 ч
9	Цинк	⁶⁵ Zn	–	–	–	246 сут
10	Мышьяк	⁷⁴ As	16,74	4,43	–	26,3 ч
11	Бром	⁸² Br	87,3	14,5	–	6,13 мин
12	Стронций	⁹⁰ Sr	–	–	–	29,12 года
13	Рутений	¹⁰³ Ru	–	–	2,68·10 ⁻¹⁶	39,3 сут
14		¹⁰⁶ Ru	7,58	1,54	1,03·10 ⁻¹⁶	1 год
15	Йод	¹³¹ I	14,2	2,15	1,93·10 ⁻¹⁶	8,04 сут
16	Цезий	¹³⁴ Cs	57,4	8,6	7,83·10 ⁻¹⁶	2,06 года
17		¹³⁷ Cs	21,33	3,24	2,91·10 ⁻¹⁶	30 лет
18	Лантан	¹⁴⁰ La	75,6	11,14	–	40,2 ч
19	Прометий	¹⁴⁵ Pm	–	–	–	2,6 года
20	Европий	¹⁵⁴ Eu	43,04	5,02	–	16 лет
21	Ртуть	²⁰³ Hg	–	–	–	46,8 сут
22	Теллур	²⁰⁴ Tl	–	–	–	3,6 года
23	Полоний	²¹⁰ Po	–	–	–	138,4 сут
24	Радий	²²⁶ Ra	59,5	–	–	1601 год
25	Плутоний	²³⁹ Pu	–	–	3,73·10 ⁻²⁰	2,44 10 ⁴ лет

2. Линейный коэффициент ослабления пучка гамма-излучения, см⁻¹

№ П/П	E_γ , МэВ	Алюминий, $\rho=2,7$ г/см ³	Бетон, $\rho = 2,35$ г/см ³	Железо, $\rho = 7,8$ г/см ³	Медь, $\rho = 8,92$ г/см ³	Олово, $\rho = 7,28$ г/см ³	Свинец, $\rho = 11,3$ г/см ³
1	0,1	0,456	0,397	2,92	3,702	7,15	62,068
2	0,2	0,329	0,291	1,146	1,293	2,228	10,689
3	0,3	0,281	0,251	0,864	0,945	1,114	4,278
4	0,4	0,250	0,224	0,738	0,813	0,801	2,496
5	0,5	0,228	0,204	0,659	0,728	0,757	1,725
6	0,6	0,210	0,189	0,604	0,668	0,572	1,350
7	0,662	0,200	0,178	0,570	0,642	0,541	1,18
8	0,8	0,184	0,166	0,525	0,582	0,472	0,983
9	1,0	0,166	0,149	0,470	0,522	0,413	0,789
10	1,25	0,148	0,132	0,408	0,474	0,373	0,655
11	1,5	0,135	0,122	0,381	0,426	0,333	0,592
12	2,0	0,117	0,104	0,333	0,373	0,296	0,525
13	3,0	0,0953	0,0853	0,283	0,319	0,266	0,480
14	4,0	0,0837	0,0745	0,259	0,296	0,259	0,478
15	5,0	0,0761	0,0674	0,246	0,284	0,259	0,483
16	6,0	0,0712	0,0630	0,239	0,276	0,261	0,495
17	8,0	0,0650	0,0571	0,231	0,271	0,269	0,521
18	10,0	0,0618	0,0538	0,231	0,273	0,280	0,555

3. Толщина защиты из бетона ($\rho = 2,3 \text{ г/см}^3$)



4. Предельные дозы облучения населения

№ п/п	Наименование доз облучения	Величины доз и единицы изм.
1	Допустимая разовая доза облучения в чрезвычайных ситуациях военного времени	50 бэр
2	Допустимая месячная доза облучения в чрезвычайных ситуациях военного времени	100 бэр
3	Допустимая годовая доза облучения в чрезвычайных ситуациях военного времени	300 бэр
4	Допустимая накопленная доза облучения при авариях на радиационно опасных объектах	25 бэр
5	Допустимая средняя годовая доза облучения персонала	2 бэр/год
6	Допустимая средняя годовая доза облучения населения	0,1 бэр/год
7	Доза облучения, вызывающая временную стерилизацию мужчин	10 бэр
8	Доза облучения, вызывающая постоянную стерилизацию мужчин	200 бэр
9	Доза облучения, вызывающая постоянную стерилизацию женщин	300 бэр
10	Доза облучения, которую выдерживают почки	2300 бэр
11	Доза облучения, которую выдерживают кости и хрящи	7000 бэр
12	Доза облучения, которую выдерживает печень	4000 бэр
13	Доза облучения, которую выдерживает головной мозг	8000 бэр

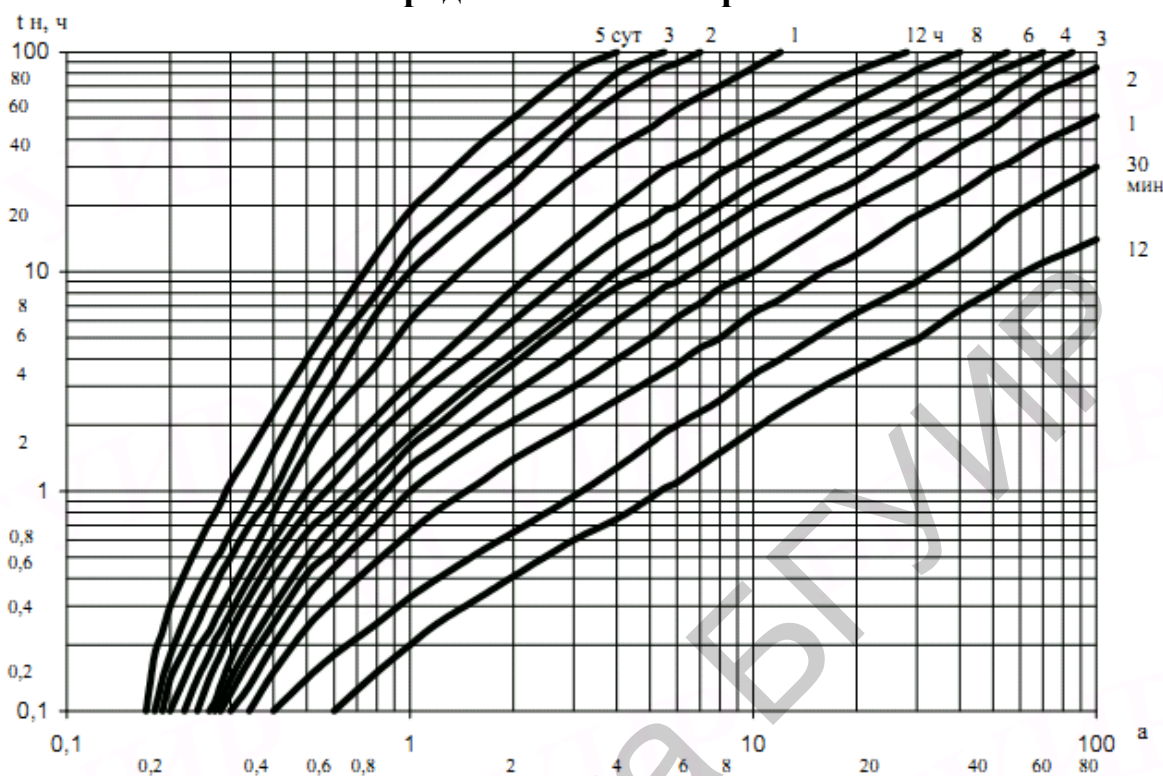
5. Средние значения коэффициента ослабления дозы облучения

Наименование укрытий, транспортных средств, или условия расположения людей	К _{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

6. Коэффициент пересчета уровней радиации на любое время, прошедшее после взрыва

<i>t</i> , ч	K ₂	<i>t</i> , ч	K ₂	<i>t</i> , ч	K ₂	<i>t</i> , 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

7. График для определения продолжительности пребывания в зоне радиоактивного заражения



8. Избыточное давление ударной волны при различных мощностях боеприпаса и расстояниях до центра взрыва

Мощность боеприпаса q , кг	Избыточное давление ударной волны $\Delta P_{\text{ф max}}$, кгс/см ²									
	2,0	1,5	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
	Расстояние до центра (эпицентра) взрыва R_x , км									
100	0,68	0,77	1,00	1,20	1,30	1,40	1,60	1,70	2,10	2,50
	0,92	1,05	1,20	1,30	1,40	1,50	1,70	1,90	2,20	2,60
200	0,86	0,97	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	1,90	2,50	2,90
	1,15	1,35	1,50	1,60	1,70	1,80	2,00	2,20	2,60	3,00
300	0,98	1,10	1,37	1,57	1,67	1,85	2,07	2,27	2,80	3,35
	1,35	1,50	1,70	1,83	1,93	2,10	2,30	2,55	2,93	3,60
500	1,15	1,30	1,70	1,90	2,00	2,30	2,60	3,00	3,40	4,20
	1,60	1,80	2,10	2,30	2,40	2,60	2,80	3,20	3,60	4,40
1000	1,50	1,70	2,20	2,40	2,70	3,00	3,30	3,60	4,30	5,00
	2,00	2,30	2,90	3,00	3,40	3,50	3,60	4,00	4,50	5,40

Примечание. Верхние числа (расстояние до центра взрыва) приведены для воздушного взрыва, нижние – для наземного.

9. Доза проникающей радиации при различных мощностях боеприпаса и расстояниях до центра взрыва

Мощность боеприпаса q , кТ	Доза проникающей радиации, Р							
	0	5	10	20	30	50	100	200
	Расстояние до центра взрыва, км							
50	2,7	2,6	2,5	2,3	2,2	2,05	1,8	1,7
100	2,9	2,8	2,7	2,5	2,4	2,25	2,1	1,9
200	3,2	3,1	3,0	2,7	2,6	2,5	2,3	2,1
300	3,3	3,2	3,1	2,8	2,7	2,6	2,5	2,3
500	3,5	3,4	3,2	3,0	2,9	2,75	2,6	2,4
1000	3,8	3,65	3,45	3,25	3,1	3,0	2,8	2,65
2000	4,2	4,0	3,8	3,6	3,45	3,25	3,15	2,95

10. Уровень радиации $P1_{\max}$ на оси наземного взрыва на 1 ч в зависимости от скорости ветра Р/ч

R_x , км	Мощность боеприпаса q , кТ						
	50	100	200	300	500	1000	2000
	Скорость ветра 25 км/ч						
2	8500	14 000	25 000	35 700	57 000	100 000	195 000
4	3200	5700	10 000	14 300	23 000	44 000	64 800
6	2000	3600	6800	9200	14 000	28 000	52 800
8	1200	2400	4700	6800	11 000	19 000	34 900
10	830	1500	3200	4800	8000	15 000	27 300
12	620	1200	2500	3600	5600	11 000	21 600
	Скорость ветра 50 км/ч						
2	5000	9350	17 100	26 800	38 100	69 200	12 5500
4	2200	4000	7500	10 700	17 000	31 000	59 800
6	1400	2610	4750	6700	10 500	20 800	36 800
8	910	1740	3010	4800	6900	13 000	24 600
10	730	1260	2400	3500	5300	9900	18 000
12	560	1030	1900	2880	4300	8800	16 000

11. Коэффициент условий расположения убежищ K_p

Условие расположения	K_p
Отдельно стоящее убежище вне застройки	1
Отдельно стоящее убежище в районе застройки	2
Встроенное в отдельно стоящем здании убежище: для выступающих из поверхности земли стен для перекрытий	2
	4
Встроенное внутри производственного комплекса или жилого квартала убежище: для выступающих из поверхности земли стен для перекрытий	4
	8

12. Толщина слоя половинного ослабления радиации для различных материалов

Материал	Толщина слоя, см	
	Гамма-излучения радиоактивного заражения	Гамма-излучения проникающей радиации
Вода	13	23
Древесина	18,5	33
Грунт, кирпич	8,1	14,4
Бетон	5,7	10
Кладка бутовая	5,4	9,6
Глина утрамбованная	6,3	11

13. Световые импульсы при различных мощностях ядерного боеприпаса и расстояниях до центра взрыва

q , кт	Световые импульсы, кал/см ²										
	72,5	42,5	30	25	20	18	16	15	14	12	10
100	Расстояние от центра (эпицентра) взрыва, км										
	1,7	2,3	2,7	2,8	3,1	3,3	3,6	3,7	3,9	4,2	4,6
200	1,0	1,3	1,5	1,6	1,9	2,0	2,1	2,15	2,2	2,4	2,7
	2,1	2,7	3,2	3,4	3,7	4,0	4,3	4,5	4,7	5,8	6,9
300	1,2	1,5	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,2
	2,5	3,3	3,9	4,2	4,5	4,9	5,2	5,4	5,6	6,4	7,7
500	1,4	1,8	2,2	2,4	2,6	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5	3,7
	3,3	4,4	5,2	5,5	5,9	6,3	6,6	6,8	7,0	8,0	9,0
1 000	1,8	2,4	2,8	3,0	3,2	3,6	3,8	3,9	4,1	4,4	4,8
	5,0	6,4	7,7	8,6	8,8	9,0	10,0	10,6	11,2	13,6	14,8
	3,1	4,0	4,8	4,9	5,1	5,6	6,2	6,6	6,8	7,2	7,8

Примечание. Верхнее число приведено для воздушного взрыва, нижнее – для наземного.

14. Характеристика огнестойкости зданий и сооружений

Степень огнестойкости зданий	Несущие и самонесущие стены, стены лестничных клеток	Заполнение между стенами	Совмещенные перекрытия	Перегородки (несущие)
I	Несгораемые 3 ч	Несгораемые 3 ч	Несгораемые 1 ч	Несгораемые 1 ч
II	То же 2,5 ч	То же 0,25 ч	То же 0,25 ч	То же 0,25 ч
III	То же 2 ч	То же 0,25 ч	Сгораемые	Трудногораемые 0,25 ч
IV	Трудногораемые 0,5 ч	Трудногораемые 0,25 ч	То же	То же 0,25 ч
V	Сгораемые	Сгораемые	То же	Сгораемые

15. Категории производств по пожарной опасности

Категория производства	Характеристика пожарной опасности технологического процесса	Наименование производства
1	2	3
A	Применение веществ, воспламенение или взрыв которых может последовать в результате воздействия: воды или кислорода воздуха; жидкостей с температурой вспышки паров 28 °С и ниже, горючих газов, которые взрываются при их содержании в воздухе 10 % и менее к объему воздуха	Цехи обработки и применения металлического натрия или калия; водородные станции; химические цехи фабрик шелка; цехи дистилляции и газофракционирования производства искусственного жидкого топлива с температурой вспышки паров 28 °С и ниже; склады баллонов для горючих газов, бензина; помещения стационарных кислотных и щелочных аккумуляторных установок; насосные станции по перекачке жидкостей с температурой вспышки паров 28 °С и ниже

Категория производства	Характеристика пожарной опасности технологического процесса	Наименование производства
Б	Применение жидкостей с температурой вспышки паров от 28 до 120 °С; горючих газов, нижний предел взрываемости которых более 10 % к объему воздуха; применение этих газов и жидкостей в количествах, которые могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси	Цехи приготовления угольной пыли и древесной муки; станции промывки и пропарки тары от мазута и других жидкостей с температурой вспышки паров от 28 до 120 °С; размольные отделения мельниц; цехи обработки каучука; цехи изготовления сахарной пудры; мазутное хозяйство электростанций; насосные станции по перекачке жидкостей с установок
В	Обработка и применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой вспышки паров выше 120 °С	Лесопильные, деревообрабатывающие, столярные и лесотарные цехи; трикотажные и швейные фабрики; цехи текстильной и бумажной промышленности с сухими процессами производства; льнозаводы; зерноочистительные отделения мельниц и зерновые элеваторы; склады топливно-смазочных материалов; трансформаторные мастерские; закрытые склады угля и торфа; насосные станции по перекачке жидкостей с температурой вспышки паров выше 120 °С; помещения для хранения автомобилей
Г	Обработка несгораемых веществ и материалов в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии и при выделении лучистого тепла, систематическом выделении искр и пламени	Литейные и плавильные цехи металлов; кузницы; сварочные цехи; цехи прокатки металлов; мотороиспытательные станции; депо мотовозные и паровозные; помещения двигателей внутреннего сгорания; высоковольтные лаборатории; котельные и др.
Д	Обработка несгораемых веществ и материалов в холодном состоянии	Механические цехи холодной обработки материалов; депо электровозов; инструментальные цехи; цехи холодной штамповки и холодного проката металлов; добыча и холодная обработка минералов, руд, асбеста, солей и других негорючих материалов; цехи переработки мясных, рыбных и молочных продуктов и др.

16. Световые импульсы, кал/см², вызывающие воспламенение некоторых материалов при различных мощностях ядерного боеприпаса

Материалы	Мощность боеприпаса, кт				
	100	200	300	500	1 000
Доски сосновые (еловые) после распила	44,0	44,5	45,0	45,5	47,0
Доски, окрашенные в белый цвет	41,75	42,0	42,3	42,5	44,0
Доски, окрашенные в темный цвет	6,25	6,5	6,7	7,0	8,25
Кровля мягкая (толь, рубероид)	14,75	15,1	15,5	16,5	19,25
Черепица красная	26,25	26,5	27,0	27,5	31,5

17. Коэффициенты ослабления доз радиации зданиями и сооружениями ($K_{\text{осл. зд. рз}}$ и $K_{\text{осл. зд. пр}}$)

Здания и сооружения	От радиоактивного заражения	От проникающей радиации
Производственные кирпичные одноэтажные здания (цехи)	7	5
Здания из сборного железобетона	8	6
Здания с легким металлическим каркасом	5	4
Здания с металлическим каркасом и бетонным заполнением	12	8
Кирпичное одноэтажное здание	10	6
Одноэтажное здание с металлическим каркасом и стеновым заполнением из листового железа	7	5

18. Степени разрушения элементов объекта при различных избыточных давлениях, кгс/см²

Элемент объекта	Разрушение		
	слабое	среднее	сильное
<i>Производственные здания и сооружения</i>			
1. Здания с легким металлическим каркасом.	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,5
2. Здания с металлическим каркасом и бетонным заполнением (площадь остекления около 30 %).	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,4
3. Здания из сборного железобетона.	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,6
4. Одноэтажные здания с металлическим каркасом и стеновым заполнением из листового металла	0,05–0,07	0,07–0,1	0,1–0,15

Элемент объекта	Разрушение		
	слабое	среднее	сильное
<i>Производственные здания и сооружения</i>			
5. Кирпичные бескаркасные здания с перекрытием из железобетонных сборных элементов (одно- и многоэтажные).	0,1–0,2	0,2–0,35	0,35–0,45
6. Кирпичные малоэтажные здания (один-два этажа)	0,08–0,15	0,15–0,25	0,25–0,35
<i>Некоторые виды оборудования</i>			
1. Станки тяжелые.	0,25–0,4	0,4–0,6	0,6–0,7
2. Станки средние.	0,15–0,25	0,25–0,35	0,35–0,45
3. Краны и крановое оборудование.	0,2–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7
4. Подъемно-транспортное оборудование.	0,2–0,5	0,5–0,6	0,6–0,8
5. Ленточные конвейеры в галерее на железобетонной эстакаде.	0,05–0,06	0,06–0,1	0,1–0,2
6. Трансформаторы (от 100 до 1 000 кВт).	0,2–0,3	0,3–0,5	0,5–0,6
7. Контрольно-измерительная аппаратура.	0,05–0,1	0,1–0,2	0,2–0,3
8. Магнитные пускатели.	0,2–0,3	0,3–0,4	0,4–0,6
9. Электродвигатели (от 2 до 10 кВт)	0,2–0,4	0,4–0,5	0,5–0,8
<i>Коммунально-энергетические сооружения и сети</i>			
1. Трансформаторные подстанции закрытого типа	0,3–0,4	0,4–0,6	0,6–0,7
2. Кабельные наземные линии	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,6
3. Трубопроводы, заглубленные на 20 см	1,5–2,0	2,0–3,5	3,5–5,0
4. Трубопроводы на металлических или железобетонных эстакадах	0,2–0,3	0,3–0,4	0,4–0,6
5. Сети коммунального хозяйства (водопровод, канализация, газопровод) заглубленные	1–2	2–10	10–15
6. Сооружения коммунального хозяйства без ограждающих конструкций	0,5–15	15–25	25–30
<i>Средства связи</i>			
1. Воздушные линии телефонно-телеграфной связи.	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–1,0
2. Кабельные наземные линии связи.	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,6
3. Радиостанции.	0,4–0,6	0,6–0,7	0,7–1,1
4. Радиорелейные линии и стационарные воздушные линии связи	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–1,2

Учебное издание

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В трех частях

Часть 2

Мельниченко Дмитрий Александрович
Бражников Михаил Михайлович
Зацепин Евгений Николаевич и др.

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *Е. И. Герман*
Корректор *Е. Н. Батурчик*
Компьютерная правка, оригинал-макет *М. В. Касабуцкий*

Подписано в печать 21.06.2017. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 5,93. Уч-изд. л. 6,0. Тираж 300 экз. Заказ 274.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
ЛП №02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровки, 6