

ЛЕКЦИЯ 17

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ХИМИЧЕСКОЙ АВАРИИ (ХА)

Под химической аварией понимают нарушения технологических процессов на производстве, повреждение трубопроводов, емкостей, хранилищ, транспортных средств при осуществлении перевозок и т.п., приводящие к выбросу (выливу, утечке) аварийно химически опасных веществ (АХОВ) в атмосферу в количествах, представляющих опасность массового поражения людей и животных.

При ХА могут действовать несколько поражающих факторов (пожары, взрывы, химическое заражение окружающей среды), но наиболее вероятны отравления хлором, аммиаком, их производными соединениями и другими АХОВ.

Таким образом будем считать, что основным фактором воздействия при ХА являются количество токсического вещества, способное поступить из окружающей среды в организм, а также время действия этого вещества на человека, которые объединяются в одну величину, называемую **токсической дозой**.

Токсическая доза выражает собой количество опасного химического вещества, которое при попадании в организм человека, вызывает определенный токсический эффект. В зависимости от эффекта различают смертельные, выводящие из строя и пороговые токсические дозы.

Смертельная токсодоза (LD) – минимальное количество вещества, вызывающее при попадании в организм человека смертельный исход.

Выводящая из строя токсодоза (ID) – минимальное количество вещества, вызывающее при попадании в организм человека потерю дееспособного состояния.

Пороговая токсодоза (PD) – минимальное количество вещества, вызывающее при попадании в организм человека начальные симптомы поражения.

Опасные химические вещества попадают в организм человека через дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки. В зависимости от способа попадания АХОВ подразделяются на вещества ингаляционного действия (АХОВ ИД), вещества перорального действия (АХОВ ПД) и вещества кожно-резорбтивного действия (АХОВ КРД).

Кожно-резорбтивная токсическая доза представляет собой массу жидкого и твердого вещества, воздействующего на человека через кожу, слизистые оболочки и кровь и вызывающего определенный токсический эффект, отнесенную к 1 кг массы тела или к полной массе тела человека (измеряется в мг/кг или мг).

Пероральная токсическая доза представляет собой массу вещества, воздействующего на человека при его заглатывании и вызывающего определенный токсический эффект, отнесенный к 1 кг массы тела или к полной массе тела человека.

Ингаляционная токсическая доза определяется следующим выражением:

$$D = \frac{V_D}{M_T} \int_{t_1}^{t_2} c(t) \cdot dt, \text{ мг/кг}$$

где M_T – масса тела человека, кг; V_D – интенсивность дыхания человека, м³/с; t_1, t_2 – время начала и окончания воздействия опасного химического вещества, с; $c(t)$ – переменная во времени концентрация АХОВ во вдыхаемом воздухе.

При постоянной во времени концентрации АХОВ

$$D = \frac{V_D}{M_T} \cdot c \cdot t, \text{ мг/кг}$$

где t – время воздействия опасного химического вещества.

Для людей, находящихся в одинаковых условиях, отношение $\frac{V_D}{M_T}$ примерно постоянно, поэтому токсичность вещества можно выразить через значение коэффициента токсичности:

$$T = c \cdot t, \text{ мг} \cdot \text{с} / \text{м}^3.$$

При **острых** поражающих воздействиях под ингаляционной токсической дозой часто понимают коэффициент токсичности $D \sim T \sim c \cdot t$.

Исходя из этого, **ингаляционная токсодоза** есть произведение концентрации токсичного вещества, воздействующего через органы дыхания, и времени экспозиции, т.е. продолжительности период вдыхания зараженного воздуха.

Для характеристики уровней токсичности АХОВ при воздействии через органы дыхания используют **среднепороговую** токсодозу PCt50, **средневыводящую** токсодозу ICt50 и **среднесмертельную** токсодозу LCt50, где число 50 указывает на пятидесятипроцентную вероятность поражения человека токсичным веществом. Для хлора, например, летальная токсодоза

составляет $LSt = 6$ мг·мин/л (токсодоза при фиксированном времени экспозиции для каждого АХОВ является постоянной величиной).

При химических авариях говорят о **зоне заражения АХОВ** – это территория, в пределах которой ядовитые вещества распространяются в опасных для жизни людей концентрациях.

Внешние границы зоны заражения определяют по ингаляционной токсодозе.

Под прогнозированием масштаба заражения АХОВ понимают определения глубины и площади зоны заражения АХОВ.

Расчет глубины и площади зоны заражения АХОВ

При аварии и разрушении емкости давления, при котором хранится АХОВ, падает до атмосферного, АХОВ вскипает и выделяется в атмосферу в виде газа, пара или аэрозоля. Образовавшееся в первые 1-3 минуты облако газа (пара, аэрозоля) АХОВ называется **первичным** облаком заражения воздуха. Оно может распространяться на большие расстояния. Оставшаяся часть жидкости (особенно с температурой кипения выше 20 °С) распространяется по поверхности и также постепенно испаряется. Пары (газы), поступая в атмосферу, образуют **вторичное** облако зараженного воздуха, которое распространяется на меньшие расстояния по сравнению с первичным.

Сложность расчетов процесса рассеивания и многообразия реальных условий и факторов, влияющих на размеры зон рассеивания, приводит к необходимости принять ряд допущений:

- все содержимое разрушившейся емкости поступает в окружающую среду;

- толщина слоя свободно разлившейся жидкости h постоянна и составляет $0,05$ м;

- толщина слоя жидкости, поступившей в поддон, $h = H - 0,2$, где H – высота поддона, м

- толщина слоя жидкости, поступившей в общий поддон от нескольких источников (емкостей, трубопроводов, аппаратов и т.п.); $h = \omega_0/Fd$, где ω_0 – общая масса разлившегося (выброшенного) при аварии вещества, т; F – реальная площадь разлива в поддон (обычно площадь поддона), m^2 ; d – плотность разлившегося вещества, t/m^3 .

При авариях на газо- и продуктопроводах выброс АХОВ принимается равным максимальному количеству АХОВ, содержащемуся в трубопроводе между автоматическими отсекающими, например, для аммиакопроводов эта величина составляет примерно $275 \dots 500$ т.

Для расчета масштабов заражения определяют количественные характеристики загрязняющего вещества по их эквивалентным значениям. Под **эквивалентной массой** АХОВ понимается такое содержание хлора, масштаб заражения которым при инверсии эквивалентен масштабу

заражения при данной степени вертикальной устойчивости атмосферы количеством АХОВ, перешедшим в первичное (вторичное) облако.

Степень вертикальной устойчивости воздуха характеризуется следующими состояниями атмосферы в приземном слое воздуха:

- **инверсия** (при ней нижние слои воздуха холоднее верхних) возникает при ясной погоде, малых (до 4 м/с) скоростях ветра, примерно за час до захода солнца и разрушается в течение часа после восхода солнца;

- **конвекция** (нижний слой воздуха нагрет сильнее верхнего и происходит перемешивание его по вертикали) возникает при ясной погоде, малых (до 4 м/с) скоростях ветра, примерно через 2 ч после восхода солнца и разрушается примерно за 2-2,5 ч до захода солнца;

- **изотермия** (температура воздуха в пределах 20-30 м от земной поверхности почти одинакова) обычно наблюдается в пасмурную погоду и при снежном покрове.

Эквивалентное количество вещества по первичному облаку

$$\omega_{\text{э1}} = K_1 K_3 K_5 K_7 \omega_0, \text{ т}$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от условий хранения загрязняющих веществ; при хранении сжатых газов $K_1 = 1$; для сжиженных газов $K_1 = C_p \Delta T / q_{\text{исп}}$ (здесь C_p – удельная теплоемкость жидкого вещества, кДж/кг·град; ΔT – разность температур жидкого вещества до и после разрушения сосуда, °С; $q_{\text{исп}}$ – удельная теплота испарения жидкого вещества при температуре испарения, кДж/кг);

K_3 – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе выброшенного вещества;

K_5 – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости атмосферы (для инверсии принимается равным 1, для изотермии 0,23, для конвекции 0,08);

K_7 – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха;

ω_0 – масса выброшенного (выливаемого) при аварии вещества, т.

Количество выброшенного (вылившегося) вещества определяется по объему разрушившейся емкости или секции трубопровода, находящейся между автоматическими задвижками. Для емкостей со сжатым газом $\omega_0 = dV_x$, для трубопроводов $\omega_0 = ndV_x/100$, где V_x – объем секции газопровода (емкости), м³; h – содержание ядовитого химического вещества в природном газе, %; d – плотность вещества, г/м³.

Эквивалентная масса вещества по вторичному облаку

$$\omega_{\text{э2}} = (1 - K_1) K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 \omega_0 / (hd),$$

где K_2 – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств вещества (табл.) или $K_2 = 8,1 \cdot 10^{-6} P \sqrt{M}$ (здесь P – давление насыщенного пара вещества при заданной температуре воздуха, мм рт. ст.;

M – молекулярная масса вещества).

Полный список СДЯВ (их характеристики и вспомогательные коэффициенты для определения глубины зоны заражения) приведен в РД 52.04.253-90.

В качестве примера приведем табличные данные для NH_3 и Cl .

№ п/п	АХОВ	Плотность АХОВ, т/м ³ газ/жидкость	Температура кипения, °С	Пороговая токсодоза, мг·мин/л	Значение коэффициентов							
					K_1	K_2	K_3	K_7 для температуры воздуха, °С				
								-40	-20	0	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	NH_3	0,0008/0,681	-/33,42	15	0,18	0,25	0,04	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
2.	Cl	1,553	-/34,1	0,6	0,18	0,52	1,0	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1

K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра.

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7
K_4	1,0	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0

K_6 – коэффициент, зависящий от времени N , прошедшего после начала аварии.

$$K_6 = \begin{cases} N^{0,8} & \text{при } N < T \\ T^{0,8} & \text{при } N \geq T \end{cases}$$

T – время полного испарения, час.

$$T = h \cdot d / (K_2 \cdot K_4 \cdot K_7);$$

Глубину зоны заражения при различных ХА рассчитывают используя данные табл. 1. в ней приведены максимальные значения глубины заражения первичным Γ_1 или вторичным Γ_2 облаком СДЯВ, определяемой в зависимости от эквивалентной массы вещества и скорости ветра.

Таблица 1.

Глубина зоны заражения, км

И, м/с	Эквивалентная масса СДЯВ, т					
	0,01	0,1	1,0	10	100	1000
1	0,38	1,25	4,75	19,20	81,91	363
3	0,22	0,68	-	-	-	-
5	0,17	-	-	-	-	-
7	0,14	-	-	-	-	-

Полная глубина зоны заражения Γ (км), обусловленная воздействием первичного и вторичного облака СДЯВ.

$$\Gamma = \Gamma' + 0,5\Gamma''$$

где Γ' – наибольший и Γ'' – наименьший из размеров глубины зоны заражения.

Полученное значение сравнивают с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс (км).

$$\Gamma_{\text{п}} = Nv,$$

где v - скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данных скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч (табл. 2).

Таблица 2.

Скорость переноса переднего фронта облака, км/ч

Степень вертикальной устойчивости атмосферы	Скорость ветра, м/с															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Инверсия	5	10	16	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Изотермия	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88	-
Конвекция	7	14	21	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимается меньшее из двух сравниваемых значений.

Площадь зоны возможного заражения (км^2) рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{в}} = 8,72 \cdot 10^{-3} \Gamma^2 \varphi,$$

где ϕ - угловые размеры зоны возможного заражения, определяемые в зависимости от скорости ветра (табл. 3).

Зона возможного заражения от облака АХОВ на картах (схемах) ограничена окружностью, полуокружностью или периметром сектора, имеющего угловые размеры ϕ . Радиус равен глубине зоны заражения Γ . Угловые размеры сектора (зоны) в зависимости от скорости ветра приведены в табл. 4.

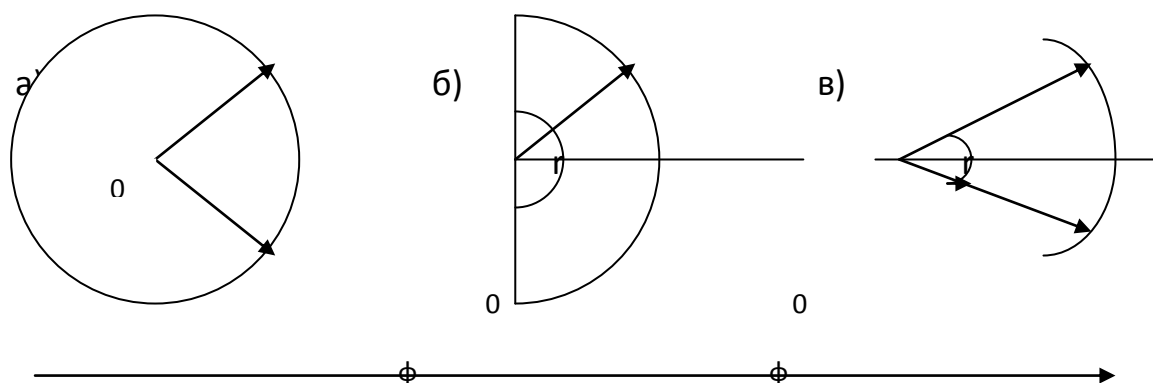


Схема нанесения на карту зон возможного заражения от облака АХОВ (а-в).

При скорости ветра $< 0,5$ м/с зона заражения имеет вид круга. Точка «0» соответствует местоположению источника заражения, углом $\phi = 360^\circ$, радиус круга равен Γ (а). При скорости ветра $0,5-1$ м/с зона заражения имеет вид полукруга $\phi = 180^\circ$, радиус полукруга равен Γ ; биссектриса угла совпадает с овью следа облака и с направлением ветра (б). При скорости ветра больше 1 м/с зона заражения имеет вид сектора; $\phi = 90^\circ$ ($v_{\text{в}} = 1,2-2$ м/с) или $\phi = 45^\circ$ ($v_{\text{в}} > 2$ м/с), радиус сектора равен Γ ; биссектриса совпадает с осью следа облака и с направлением ветра (в).

Зона фактического заражения, имеющая форму эллипса, включается в зону возможного заражения. Ввиду того, что под действием ветра облако АХОВ может перемещаться, фиксированное изображение зоны фактического заражения на карты (схемы) не наносится.

Таблица 4. Угловые размеры зоны возможного заражения АХОВ в зависимости от скорости ветра

$v_{\text{в}}, \text{ м/с}$	$< 0,5$	$0,6 - 1$	$1,1 - 2$	> 2
$\phi, \text{ град}$	360	180	90	45

Площадь зоны фактического заражения (км^2) рассчитывается по формуле:

$$S_{\phi} = K_8 \Gamma^2 N^{0,2},$$

где K_8 – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха: при инверсии - $K_8 = 0,081$; при изотермии – $0,123$; при конвекции – $0,235$.

Расчет времени подхода облака СДЯВ к заданному объекту зависит от скорости переноса облака воздушным потоком:

$$t = x/v,$$

где x – расстояние от источника заражения до заданного объекта, км;
 v – скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха км/ч (табл. 2).

Расчет продолжительности поражающего действия АХОВ.

Продолжительность поражающего действия АХОВ определяется временем его испарения $t_{и}$ с площади разлива по формуле:

$$t_{и} = hd / (K_2 K_4 K_7),$$

где h – толщина слоя АХОВ, м;
 d – плотность АХОВ, т/м³.

АВАРИИ И КАТАСТРОФЫ НА АЭС И ДРУГИХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ (ЯЭУ)

Под **радиационными авариями** на АЭС понимают нарушение их безопасной эксплуатации, при котором произошел выход радиоактивных продуктов и (или) ионизирующего излучения за предусмотренные проектом для нормальной эксплуатации границы в количествах, превышающих установленные значения.

В соответствии с решением МАГАТЭ (международным агентством по атомной энергетике) установлены 7 баллов (степеней опасности) аварийных ситуаций на АЭС:

1. Незначительные происшествия.
2. Происшествия средней тяжести.
3. Серьезные происшествия.
4. Аварии в пределах АЭС.
5. Аварии с риском для окружающей среды.
6. Тяжелые аварии.
7. Глобальные аварии.

Радиоактивное заражение при аварии АЭС может происходить за счет выброса парогазовой фазы (**авария без разрушения активной зоны**). При этом высота выброса может составлять $H_B = 150 \dots 200$ м, время выброса – $20 \dots 30$ мин. Состав радиоактивных изотопов: ксенон, криптон, йод.

Более серьезной аварией является выброс продуктов деления из реактора (**авария с разрушением активной зоны**). При этом радиоактивные

продукты выбрасываются на высоту $H_B = 2 \dots 3$ км, продолжительность выброса – несколько суток до окончания герметизации реактора.

Характер радиоактивного заражения при авариях на АЭС имеет ряд особенностей (по сравнению с взрывом ядерного боеприпаса).

1. Длительность радиоактивного заражения окружающей среды вследствие наличия в смеси изотопов вещества с большим периодом полураспада (уран-235, $T_{1/2} = 700$ млн. лет; стронций-90, $T_{1/2} = 286,6$ года; цезин-137, $T_{1/2} = 30$ лет и так далее).

2. Сложность конфигурации границ зон заражения вследствие продолжительности выбросов и изменения за это время направления ветра.

3. «Очаговое» заражение в дальней (более 1000 км) зоне.

Прогнозирование и оценка обстановки при авариях на АЭС

При авариях на АЭС с выбросом радиоактивных веществ (РВ) возникают районы радиоактивного заражения (загрязнения) местности РЗМ в форме окружности (в районе аварии) и вытянутого эллипса (по следу облака) правильной формы при т.н. нормальных топо- и метеоусловиях и неправильной – при ненормальных (сложных) топо- и метеоусловиях (пересеченная местность, изменением направления и скорости ветра и др.).

Воздействие РЗМ на людей осуществляется в виде облучения:

- **внутреннего** – с воздухом, пищей, водой;
- **внешнего** – от проходящего облака и РВ, выпавших на подстилающую поверхность;
- **контактного** – от РВ на кожных покровах, одежде.

Основными параметрами, характеризующими районы РЗМ, являются **поглощенные дозы облучений** до полного распада (D_∞ , Р, (рад)) и мощности этих доз – **уровни радиации** на определенное время (Р, Р/ч, рад/ч).

Уровни радиации с течением времени, вследствие распада РВ уменьшаются согласно зависимости:

$$P_t = P_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-0,4},$$

где P_t – мощность дозы на любое заданное время t после аварии, Р/ч;
 P_0 – мощность дозы на время его изменения после аварии, Р/ч.

В практических расчетах используется т.н. эталонный уровень радиации – уровень радиации, приведенный к 1ч. после аварии – P_1 . Между дозой облучения до полного распада и уровнем радиации P_1 при авариях на АЭС существует связь: $D_\infty = 400 P_1$.

В зависимости от величин D_∞ и P_1 районы РЗМ подразделяют на зоны:

1. **Внешнего облучения:** А – умеренного, Б – сильного, В – опасного, Г – чрезвычайно опасного заражения (облучения).

2. **Внутреннего облучения:** Д' – опасного, Д – чрезвычайно опасного заражения (облучения) (рис. 1, табл. 1).

При этом при авариях с разрушением реактора образуются все зоны облучения и наибольшую опасность представляет **внешнее** облучение; при авариях без разрушения реактора – зоны А, Д' и Д и наибольшую опасность представляет **внутреннее** облучение щитовидной железы человека от ингаляции йода-131 и 133.

Выявление радиационной обстановки производится поэтапно и различными методами:

1. До возникновения аварии – методом заблаговременного прогнозирования.

2. Непосредственно после возникновения аварии – методом оперативного прогнозирования.

3. После выпадения на местности РВ и формирования зон заражения – по данным радиационной разведки.

Рис. 1. Зоны радиоактивного заражения местности при аварии на АЭС

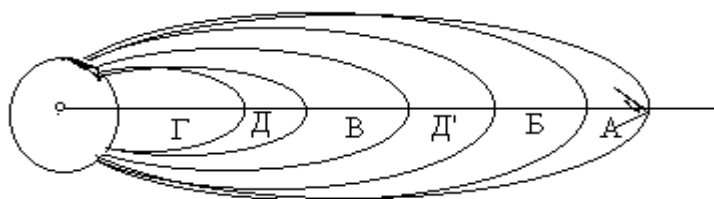


Таблица 1.

Характеристика зон облучения при авариях на АЭС

Тип аварии	Зоны РЗМ	Параметры внешних границ зон		
		Р ₁ , Р/ч	Д~внешн. Р	Д~внутр.Р
С разрушением реактора	А	0,1	40	-
	Б	1,0	400	-
	В	3,0	1200	-
	Г	10	4000	-
	Д'	-	-	30
	Д	-	-	250
Без разрушения реактора	А	0,1	40	-
	Д'	-	-	30
	Д	-	-	250

Объективно оценить радиационную обстановку возможно только на основании данных, полученных органами разведки с помощью дозиметрических приборов.

Исходными данными для выявления и оценки радиационной обстановки по данным разведки являются измеренные на местности величины уровней радиации и время их измерения после аварии.

Затем производится пересчет измеренных значений уровней радиации (P_t) на эталонные P_1 :

$$P_1 = P_t : (x)K_t$$

где P_t – уровень радиации на время t его измерения, Р/ч;

K_t – коэффициент пересчета уровней радиации на любое время (табл. 2).

Деление (:) на K_t производится в случае измерения уровней радиации **позже** 1 часа после аварии, умножение (x) **ранее** 1 часа после аварии.

Таблица 2.

Коэффициент K_t для пересчета уровней радиации на любое время (после аварии на АЭС)

t , ч	K_t	t , ч	K_t	t , ч	K_t	t , ч	K_t
0,5	1,32	4,5	0,545	8,5	0,427	16	0,33
1	1	5	0,525	9	0,417	20	0,303
1,5	0,85	5,5	0,508	9,5	0,408	24	0,282
2	0,76	6	0,49	10	0,4	48	0,213
2,5	0,7	6,5	0,474	10,5	0,39	72	0,182
3	0,645	7	0,465	11	0,385	96	0,162
3,5	0,61	7,5	0,447	11,5	0,377	120	0,146
4	0,575	8	0,434	12	0,37	144	0,137

По нанесенным на схемы эталонным уровням радиации можно провести границы зон РЗМ (зоны РЗМ на карте (схеме)) образуются при соединении линиями точек измерения уровней радиации со значениями 0,1; 1,0; 3,0; 10,0 (Р/ч).

Пример 1. В результате аварии на АЭС с разрушением реактора произошло РЗМ. На промышленном объекте уровень радиации, измеренный через 2,5 часа после аварии составил 3 Р/ч, $K_t = 0,7$ (табл. 2).

Определить местоположение объекта на РЗМ (т.е. в какой зоне).

Решение: $P_1 = P_t : K_t = 3,0 : 0,7 = 4,3$ (Р/ч).

Вывод: Промышленный объект оказался в зоне В (опасного) внешнего облучения. (табл. 1).

Оценка радиационной обстановки по данным разведки включает в себя определение (расчет):

1. Доз облучения (за определенное время)

- в статике (на объекте, в населенном пункте);

- в динамике (при движении по РЗМ).

2. Времени начала или продолжительности на РЗМ при установленной дозе облучения.

При расчете используют аналитические, графические и табличные зависимости.

Доза облучения на ближайшее время в статике может быть рассчитана по упрощенной формуле:

$$D_{ст} = \frac{P_n + P_k}{2K_{осл}} \cdot T_{пр}, \text{ Р (рад)}$$

где P_n, P_k - уровни радиации на начало и конец нахождения людей на РЗМ, Р/ч;

$T_{пр}$ - продолжительность нахождения людей на РЗМ, ч, мин.;

$K_{осл}$ - коэффициент ослабления радиации зданиями, сооружениями и т.п. (табл. 3).

Дозы облучения на ближайшую перспективу в динамике определяются по формуле:

$$D_{дин} = \frac{P_{ср(t)} \cdot L}{V \cdot K_{осл}}, \text{ Р (рад)}$$

где $P_{ср(t)}$ - среднее значение уровней радиации на пути следования людей за время t пересечения оси следа облака, Р/ч;

L - длина пути следования по РЗМ, км; V - скорость движения людей по РЗМ, км/ч;

$K_{осл}$ - коэффициент ослабления радиации транспортными средствами.

Таблица 3.

Коэффициент ослабления радиации зданиями, сооружениями, транспортными средствами и т.п.

Наименование укрытий и транспортных средств или условий действия населения	$K_{осл}$
1	2
Открытое расположение на местности	1
Транспортные средства	
Автомобили и автобусы	2
Железнодорожные платформы	1,5
Крытые вагоны	2
Пассажирские вагоны, локомотивы	3

Промышленные и административные здания	
Производственные одноэтажные здания (цеха)	7
Производственные и административные трехэтажные здания	6
Жилые каменные дома	
Одноэтажные	10
Подвал	40
Двухэтажные	15
Подвал	100
Трехэтажные	20
Подвал	400
Пятиэтажные	27
Подвал	400
Жилые деревянные дома	
Одноэтажные	2
Подвал	7
Двухэтажные	8
Подвал	12
В среднем для населения	
Городского	8
Сельского	4

Пример 2. Рабочие прибыли из укрытия в цех, расположенный в одноэтажном производственном здании через 2 ч после радиационной аварии. Уровень радиации на территории объекта через 1 ч после РА составлял 4 Р/ч. Определить дозу облучения, которую получают рабочие в цехе за 4 ч.

Решение: Определяем уровни радиации через 2 и 6 часов после аварии по формуле: $P_t = P_1 \cdot K_t$; $K_2 = 0,76$, $K_6 = 0,49$ (табл. 2).

$P_2 = P_1 \cdot K_2 = 4 \cdot 0,76 = 3,04$ Р/ч; $P_6 = P_1 \cdot K_6 = 4 \cdot 0,49 = 1,96$ Р/ч.; $K_{осл} = 7$ (табл. 3).

$$D_{ст} = \frac{3,04 + 1,96}{2 \cdot 7} \cdot 4 = 1,49 \text{ Р.}$$

Вывод: За 4 ч работы в цехе рабочие получают дозу облучения 1,4 Р.

Расчет допустимого времени нахождения людей на РЗМ осуществляется на основании данных по уровням радиации и заданной дозе облучения по следующей зависимости:

$$T = f\left(\frac{D_{зад} \cdot K_{осл}}{P_{вх}}; t_{вх}\right),$$

где $D_{\text{зад}}$ - заданная доза облучения;
 $P_{\text{вх}}$ - уровень радиации к моменту входа на РЗМ;
 $t_{\text{вх}}$ - время, прошедшее после аварии до момента входа;
 T - продолжительность облучения.

Пример 3. Рабочие приступили к работе в цехе, расположенном в одноэтажном производственном здании, через 3 ч после РА. Уровень радиации в это время составлял 9 Р/ч. Определить допустимую продолжительность пребывания рабочих в цехе, если им установлена доза облучения 5 Р.

Решение: По табл. 3 находим $K_{\text{осл}} = 7$. Рассчитываем отношение

$$\frac{D_{\text{зад}} \cdot K_{\text{осл}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{5 \cdot 7}{9} = 4 .$$
 Далее по табл. 4 на пересечении значений

вертикальной (4) и горизонтальной (3 ч) колонок находим допустимое время работы 11 ч 05 мин.

Вывод: Рабочие в цехе, при установленной им дозе облучения в 5 Р, могут находиться в течении 11 ч 05 мин.

Таблица .4.

Допускаемое время пребывания на РЗМ

$D_{\text{зад}} \cdot K_{\text{осл}}$	Время, прошедшее с момента аварии до начала облучения, ч												
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24
$P_{\text{вк}}$	Допускаемое время пребывания на РЗМ, ... ч... мин												
0,2	0-15	0-14	0-13	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12	0-12
0,3	0-22	0-22	0-20	0-19	0-19	0-19	0-19	0-18	0-18	0-18	0-18	0-18	0-18
0,4	0-42	0-31	0-26	0-26	0-25	0-25	0-25	0-25	0-25	0-25	0-25	0-24	0-24
0,5	1-02	0-42	0-35	0-34	0-32	0-32	0-32	0-31	0-31	0-31	0-31	0-31	0-30
0,6	1-26	0-54	0-44	0-41	0-39	0-39	0-38	0-38	0-37	0-37	0-37	0-37	0-37
0,7	2-05	1-08	0-52	0-49	0-47	0-46	0-45	0-45	0-44	0-44	0-44	0-44	0-43
0,8	2-56	1-23	1-02	0-57	0-54	0-53	0-52	0-51	0-51	0-51	0-50	0-50	0-49
0,9	4-09	1-42	1-12	1-05	1-02	1-00	0-59	0-58	0-57	0-57	0-57	0-57	0-55
1,0	5-56	2-03	1-23	1-14	1-10	1-08	1-06	1-05	1-05	1-04	1-04	1-03	1-02
2,0	Без	11-52	4-06	3-13	2-46	2-35	2-29	2-24	2-20	2-18	2-16	2-13	2-06
2,5	ограни-	31-00	6-26	4-28	3-48	3-28	3-16	3-08	3-03	2-59	2-55	2-51	2-40
3,0	чений	Без	9-54	6-09	5-01	4-28	4-10	3-58	3-49	3-43	3-38	3-30	3-14
4,0		ограни-	23-43	11-05	8-12	6-57	6-16	5-50	5-33	5-19	5-10	4-58	4-26
6,0		чений	193-19	35-35	19-48	14-43	12-19	10-55	10-02	9-24	8-57	8-19	7-01
10,0			-	-	124-00	59-18	39-34	30-39	25-42	22-35	21-32	17-52	13-08

Согласно литературным данным отмечены следующие степени поражения людей после воздействия на них однократных доз излучения:

- 1100-5000 Р – 100 % смертность в течении недели;
- 550-750 Р – смертность почти 100 %, небольшое количество людей выздоравливают в течении приблизительно 6 месяцев;
- 400-500 Р – смертность 50 % все пораженные заболевают лучевой болезнью;
- 270-330 Р – 20 % почти все пораженные заболевают лучевой болезнью;
- 180-220 Р – 50 % пораженных заболевают лучевой болезнью;
- 130-170 Р – 25 % пораженных заболевают лучевой болезнью;
- 80-120 Р – 10 % пораженных чувствуют недомогание без серьезной потери трудоспособности;
- 0-50 Р – отсутствие признаков поражения.

Эффективность воздействия на организм человека однократной дозы излучения с течением времени после облучения уменьшается и составляет через 1 неделю – 90 %, 3 недели – 60 %, 1 месяц – 50 %, 3 месяца – 12 %. Например, если люди были облучены экспозиционной дозой 30 Р 3 недели назад, то остаточная доза радиации составляет: $30 \cdot 6 = 18$ Р.

Ослабление ИИ при прохождении через различные вещества

Известно, что при прохождении через различные вещества происходит ослабление ИИ. Защитные свойства материала характеризуются слоем половинного ослабления, при прохождении которого интенсивность ИИ уменьшается в 2 раза.

Значения толщины слоя половинного ослабления для различных материалов приведены в табл. 5.

Таблица 5.

Толщина слоя половинного ослабления

Материал	Плотность г/см ³	Слой половинного ослабления, см	
		Для нейтронов	Для γ -излучения
Вода	1	2,7	13,0
Древесина	0,7	9,7	19,0
Полиэтилен	0,95	2,7	14,0
Грунт	1,8	12,0	7,2
Кирпич	1,6	10,0	8,4
Лед	0,9	3,0	14,5
Стекло	1,4	11,0	9,3
Бетон	2,3	12,0	5,6
Сталь (броня)	7,8	11,5	1,8
Свинец	11,3	12,0	1,3
Стеклопластик	1,7	4,0	80

Из таблицы видно, что слой половинного ослабления легких материалов для нейтронного излучения в несколько раз меньше, чем для тяжелых. И наоборот, тяжелые материалы, например металлы хуже ослабляют нейтронное излучение, чем γ -излучение.

Защитой от ИИ служат противорадиационные укрытия (ПРУ). Защитные свойства ПРУ оценивают коэффициентом ослабления ($K_{\text{осл}}$), который показывает во сколько раз ПРУ ослабляет действие радиации.

$$K = 2 \frac{h}{d_{\text{пол}}},$$

где h – толщина слоя материала, см;

K – коэффициент ослабления одного защитного слоя преграды;

$d_{\text{пол}}$ – толщина слоя материала, ослабляющего излучения в 2 раза, см.

Если защитная преграда состоит из нескольких слоев различных материалов (грунта, бетона, дерева ...), то подсчитывают степень ослабления для каждого слоя в отдельности и результаты перемножают:

$$K_{\text{общ}} = K_1 \cdot K_2 \dots K_n.$$

ПРУ устраивают с расчетом наибольшего коэффициента защиты ($K_{\text{осл}}$).

Они оборудуют прежде всего в подвалах каменных зданий ($K_{\text{осл}} = 200-300$), подвалах деревянных домов ($K_{\text{осл}} = 7-12$). Первые этажи многоэтажных каменных зданий ослабляют радиацию в 5-7 раз.